

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,**  
**MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

***AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE LAGOAS***  
***DE ESTABILIZAÇÃO POR MEIO DE DADOS DE***  
***MONITORAMENTO E MODELAGEM EM***  
***FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL (CFD)***

**Ricardo Gomes Passos**

**Belo Horizonte**

**2012**

***AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE LAGOAS DE  
ESTABILIZAÇÃO POR MEIO DE DADOS DE  
MONITORAMENTO E MODELAGEM EM  
FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL (CFD)***

**Ricardo Gomes Passos**

**Ricardo Gomes Passos**

***AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE LAGOAS DE  
ESTABILIZAÇÃO POR MEIO DE DADOS DE  
MONITORAMENTO E MODELAGEM EM  
FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL (CFD)***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Tratamento de Águas Residuárias

Orientador: Marcos von Sperling

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte – BRASIL

Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br

<http://www.smarh.eng.ufmg.br>

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Avaliação de Desempenho de Lagoas de Estabilização por Meio de Dados de Monitoramento e Modelagem em Fluidodinâmica Computacional (CFD)

**RICARDO GOMES PASSOS**

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Prof. MARCOS VON SPERLING

Prof. CARLOS AUGUSTO DE LEMOS CHERNICHARO

Prof. SÍLVIA MARIA ALVES CORRÊA OLIVEIRA

Prof. RAFAEL KOPSCHITZ XAVIER BASTOS

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Prof. Mônica Maria Diniz Leão  
Coordenadora

Versão Final aprovada por

Prof. Marcos von Sperling  
Orientador

Belo Horizonte, 18 de maio de 2012.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao povo brasileiro, que paga seus impostos e que, de várias formas, viabilizou esta pesquisa. Aos políticos que têm consciência disso.

Aos profissionais/pesquisadores que se dedicam ao saneamento: há muito que se fazer para conseguirmos o básico na vida das pessoas.

A minha família, que sempre me apoiou, mesmo de longe: principalmente meu pai (aprendi bastante, sempre), minha mãe (que nunca deixou de perguntar se eu me alimentei direito, principalmente quando não tinha muito tempo para dormir) e Siruca (minha irmã: espero que ela não leia o apelido aqui). Amo muito vocês. Também a Ize (Cobrinha), que é boa parte da minha família aqui em BH.

Aos amigos (a outra parte).

Aos amigos da república aqui em BH e agregados, principalmente o estagiário-mor Thiago Bressani, que me ajudou demais nessa pesquisa: também sujou a mão de corante, também ficou pintado de rosa, também passou finais de semana na ETE de barco e remo com um sol na cabeça e espirros de esgoto e também virou noites na modelagem.

Ao pessoal da MESE (INFRAERO), pelo coleguismo e amizade. Um agradecimento especial ao Tião, meu amigo e chefe, que fez de tudo para que eu conseguisse conciliar minha pesquisa e meu trabalho, sem precisar abdicar de nenhuma das duas coisas que tenho prazer em fazer.

Aos amigos de Eunápolis - BA, que são bons e nunca mudam, mesmo depois de tanto tempo sem vê-los.

A todos os amigos de Viçosa, à própria Viçosa e UFV, aos capadócios da República Canela Raspada, pessoal da ETA, biblioteca, RU, Banda Capadócios e suas 487 formações. Viçosa fez da minha formação pessoal e profissional a melhor época da minha vida.

Aos professores da UFV e às oportunidades de estágios, bolsas e projetos de iniciação científica dos quais pude participar.

Aos professores do PPGSMARH/UFMG, sempre dispostos a ajudar. Agradeço especialmente ao professor Marcos von Sperling, meu orientador, o qual admiro como excelente profissional e pessoa extraordinária.

À COPASA, por ter fornecido os dados de monitoramento, ao IEF pelo empréstimo do barco e à INFRAERO, pelo apoio à pesquisa e pesquisador.

A sabedoria só existe se o conhecimento vier acompanhado da humildade.

## RESUMO

A ETE que atende o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins – MG realiza o tratamento dos efluentes de todo o complexo aeroportuário por meio de lagoa de estabilização facultativa seguida de lagoa de maturação. Na tentativa de se obter um diagnóstico do funcionamento do sistema, foi feita a avaliação de desempenho da ETE, por meio de: dados de monitoramento de parâmetros físicos, químicos, microbiológicos e hidrobiológicos nas lagoas (1994-2010); caracterização prévia dos efluentes do aeroporto; levantamento batimétrico das lagoas e construção de superfícies de contorno; ensaios hidrodinâmicos de campo com corante e drogue e modelagem em CFD (Fluidodinâmica Computacional). De forma geral, os resultados de monitoramento indicaram que: o efluente do aeroporto apresenta-se mais diluído que o esgoto doméstico; as unidades operaram na grande maioria do tempo em subcarga e com folga quanto ao TDH mínimo a ser mantido; a lagoa facultativa apresentou desempenho bastante satisfatório, inclusive na remoção de nutrientes e E.coli; o efluente final, na maior parte do tempo, atende os padrões de lançamento, exceto para DQO e pH, além de que, provavelmente, há grande saída de algas no efluente final, contabilizando como DQO/DBO/Sólidos. Foram encontradas baixas taxas de acúmulo de lodo. Os mapas batimétricos apontaram distribuição desigual entre as duas entradas da lagoa facultativa, situação causada pela distribuição desigual do afluente e acúmulo maior próximo aos dispositivos de entrada/saída, em ambas as lagoas. Foi verificado que os ventos influenciam consideravelmente o fluxo na camada superficial da lagoa. Tal influência foi verificada com a observação das laranjas lançadas na superfície das lagoas e por meio da modelagem em CFD. O drogue, concebido e montado como parte da presente pesquisa, apresentou resultados amplamente satisfatórios. As trajetórias registradas corresponderam ao verificado em campo e obtido com CFD. A modelagem em CFD demonstrou ser bastante útil na avaliação das condições hidrodinâmicas de lagoas de estabilização, reforçando uma tendência que vem se consolidando com as pesquisas recentes na área, principalmente internacionais (no Brasil, há poucas referências). A partir do modelo, foi possível verificar a ocorrência de curtos-circuitos, zonas mortas, zonas de recirculação e vórtex, dispersão de constituintes e uma estimativa mais próxima do TDH real das lagoas, por meio de um teste de traçador virtual.

## ABSTRACT

The Wastewater Treatment Plant serving the Tancredo Neves International Airport, in Confins – MG consists of a facultative pond followed by a maturation pond. In an attempt to obtain a diagnosis of the system operation, its performance was assessed through: the monitoring of physical, chemical, microbiological and hydrobiological parameters (1994-2010); a previous characterization of the effluent at the airport; a bathymetric survey of the ponds and the construction of contour surfaces; hydrodynamic test field with dye and drogue; and CFD modeling (Computational Fluid Dynamics). In general, the monitoring results indicated that: the effluent of the airport is more diluted than domestic sewage, the units operated under-loaded most of the time and with HRTs higher than the minimum required; the facultative pond had satisfactory performance including nutrient and *E. coli* removal; the final effluent met the sewage discharge standards most of the time, except for pH and COD, besides the fact that a high concentration of algae might be present in the final effluent, accounting for the final values of COD/BOD/Solids. Low sludge accumulation rates were found. The bathymetric maps showed an uneven distribution between the two inputs of the facultative pond, a situation caused by the unequal distribution of the influent and greater accumulation near the input/output in both ponds. It was found that the winds considerably influence the flow in the superficial layer of the pond. Such effect was verified by observing oranges thrown on to the surface of the ponds as well as by the CFD modeling. The *drogue*, designed and built as part of this research, showed broadly satisfactory results. The recorded trajectories corresponded to those verified in the field and obtained by the CFD. The CFD modeling proved particularly useful in the evaluation of the hydrodynamic conditions of stabilization ponds, reinforcing a trend which is gaining space with recent research, primarily international (there are a few references in Brazil). From the model, it was possible to verify the occurrence of short circuiting, dead zones recirculation zones and vortex, dispersion of constituents and a closer estimate of the actual HRT of the ponds, by means of a virtual tracer test.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS .....</b>	<b>14</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>20</b>
3.1 ASPECTOS DA REGULAMENTAÇÃO AMBIENTAL REFERENTE A LANÇAMENTOS DE EFLUENTES EM CORPOS D'ÁGUA .....	20
3.2 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO .....	22
3.2.1 Lagoas Facultativas .....	24
3.2.2 Lagoas de Maturação.....	25
3.2.3 Desempenho de lagoas de estabilização .....	25
3.2.4 Geração de lodo em lagoas de estabilização .....	28
3.3 EFLUENTES DE AEROPORTOS.....	30
3.4 AVALIAÇÃO HIDRODINÂMICA DE LAGOAS .....	32
3.5 FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL (CFD) .....	35
3.5.1 Definição, histórico e aplicações .....	35
3.5.2 Matemática do CFD.....	36
3.5.3 Aplicação de CFD em lagoas de estabilização .....	37
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>41</b>
4.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO .....	41
4.2 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO .....	45
4.2.1 Dados de monitoramento.....	46
4.2.2 Levantamento batimétrico .....	49
4.2.3 Avaliação hidrodinâmica – Ensaios de campo.....	52
4.2.4 Avaliação hidrodinâmica - Modelagem em CFD.....	58
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>69</b>
5.1 ANÁLISE DOS DADOS DE MONITORAMENTO .....	69
5.1.1 Resumo dos resultados .....	69
5.1.2 Panorama climático .....	70
5.1.3 Vazão e TDH .....	76
5.1.4 pH e Alcalinidade .....	82
5.1.5 Temperatura .....	86
5.1.6 Oxigênio dissolvido .....	89
5.1.7 Sólidos .....	91
5.1.8 Matéria orgânica.....	99
5.1.9 <i>Escherichia coli</i> .....	119
5.1.10 Nutrientes.....	123
5.1.11 Cloreto.....	134
5.1.12 Óleos e Graxas.....	136
5.1.13 Detergentes.....	139
5.1.14 Relação DBO/N/P.....	141
5.1.15 Fitoplâncton.....	141
5.1.16 Efluente da cloaca .....	145
5.1.17 Coeficientes de remoção de DBO ( $K$ ) e de coliformes ( $K_b$ ).....	149
5.1.18 Cumprimento da Legislação.....	153
5.2 AVALIAÇÃO HIDRODINÂMICA – ENSAIOS DE CAMPO .....	158
5.2.1 Velocidade e direção predominante dos ventos.....	158
5.2.2 Ensaio com corante .....	160

5.2.3	<i>Ensaio com drogas</i> .....	163
5.3	LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO .....	167
5.3.1	<i>Modelos de distribuição espacial do lodo nas lagoas</i> .....	167
5.3.2	<i>Taxas de acúmulo de lodo</i> .....	171
5.4	AVALIAÇÃO HIDRODINÂMICA - MODELAGEM EM CFD.....	172
5.4.1	<i>Geometrias e Malhas</i> .....	172
5.4.2	<i>Simulações</i> .....	176
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>201</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>205</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>207</b>
	<b>APÊNDICE</b> .....	<b>216</b>
	<b>ANEXO I</b> .....	<b>240</b>
	<b>ANEXO II</b> .....	<b>248</b>
	<b>ANEXO III</b> .....	<b>264</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 4.1</b> - ETE do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins-MG. ....	41
<b>Figura 4.2</b> - Fluxograma da ETE do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins-MG.....	42
<b>Figura 4.3</b> - Gradeamento manual - ETE do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins-MG. ....	43
<b>Figura 4.4</b> – Vista da calha Parshall. ETE do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins - MG.....	43
<b>Figura 4.5</b> - Desenho esquemático da lagoa facultativa da ETE Confins, com dimensões em planta.....	44
<b>Figura 4.6</b> - Desenho esquemático da lagoa de maturação da ETE Confins, com dimensões em planta. ....	45
<b>Figura 4.7</b> – Vista da Cloaca (instalação presente nos aeroportos para recebimento dos efluentes sanitários das aeronaves) – Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins - MG. ....	47
<b>Figura 4.8</b> - Operação de descarga do QTU (equipamento de coleta e transporte dos efluentes das aeronaves) na cloaca – Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins - MG. ....	47
<b>Figura 4.9</b> - Esquema representativo do equipamento para determinação da altura da camada de lodo (GONÇALVES et al, 1997). ....	50
<b>Figura 4.10</b> - Equipamento montado, como parte desta pesquisa, para a medição da altura de lodo das lagoas da ETE Confins. ....	51
<b>Figura 4.11</b> - Medição de velocidade e direção predominante do vento nas lagoas da ETE Confins durante os ensaios com corantes e drogas.....	53
<b>Figura 4.12</b> - Preparação da solução do corante Amaranth para realização de ensaio nas lagoas da ETE Confins. ....	54
<b>Figura 4.13</b> - Lançamento do corante na calha Parshall da ETE Confins, durante os ensaios de campo. ....	55
<b>Figura 4.14</b> - Drogue experimental (SHILTON, 2001).....	56
<b>Figura 4.15</b> – Protótipo do drogue montado como parte desta pesquisa para registro do fluxo nas lagoas.....	56
<b>Figura 4.16</b> - GPS e bateria adaptada para utilização no drogue. ....	57
<b>Figura 4.17</b> - Drogue montado como parte desta pesquisa, com comprimento ajustável, para registro do fluxo nas lagoas. ....	57
<b>Figura 4.18</b> - Superfície do volume finito (Adaptado de ANSYS CFX 11.0, 2006).....	60
<b>Figura 5.1</b> - Mapa Climático de Precipitação Pluviométrica Acumulada Anual – 1961-1990 (SIMGE, 2011)...	71
<b>Figura 5.2</b> - Mapa Climático de Evaporação – 1961-1990 (INMET, 2011).....	72
<b>Figura 5.3</b> - Mapa Climático de Umidade Relativa do Ar – 1961-1990 (INMET, 2011). ....	72
<b>Figura 5.4</b> - Mapa Climático de Insolação – 1961-1990 (INMET, 2011). ....	73
<b>Figura 5.5</b> - Variação de temperatura ao longo dos anos na plataforma do AITN – Confins – MG. ....	75
<b>Figura 5.6</b> - Variação da nebulosidade ao longo de cada ano na plataforma do AITN – Confins - MG.....	76

<b>Figura 5.7</b> - Variação da precipitação ao longo de cada ano na plataforma do AITN – Confins - MG. ....	76
<b>Figura 5.8</b> - Série temporal da vazão afluente a ETE Confins, com média móvel anual. ....	77
<b>Figura 5.9</b> - Série temporal da movimentação de passageiros no AITN, com média móvel anual. ....	77
<b>Figura 5.10</b> - Gráfico box-plot da vazão afluente à ETE Confins (dados de 1994 a 2010). ....	79
<b>Figura 5.11</b> - Série temporal do tempo de detenção hidráulica das lagoas da ETE Confins, com média móvel anual. ....	80
<b>Figura 5.12</b> - Gráficos box-plot do TDH teórico nas lagoas da ETE Confins. ....	81
<b>Figura 5.13</b> – TDH - Distribuição de frequências acumuladas – lagoa facultativa e lagoa de maturação da ETE Confins. ....	81
<b>Figura 5.14</b> - Gráfico box-plot do pH ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	83
<b>Figura 5.15</b> - Gráfico box-plot da alcalinidade (mgCaCO <sub>3</sub> /L) ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	84
<b>Figura 5.16</b> - Gráficos de dispersão ‘pH x Alcalinidade’ para a lagoa facultativa e lagoa de maturação – ETE Confins. ....	85
<b>Figura 5.17</b> - Gráfico box-plot da temperatura (°C) ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	87
<b>Figura 5.18</b> - Ajustes de regressão linear para os dados de ‘Temperatura da Água x Temperatura do Ar’ na lagoa facultativa e na lagoa de maturação – ETE Confins. ....	88
<b>Figura 5.19</b> - Gráficos box-plot com os valores de percentis da temperatura em cada mês do ano – ETE Confins. ....	88
<b>Figura 5.20</b> - Gráfico box-plot das concentrações de OD ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	89
<b>Figura 5.21</b> – Vista da lagoa de maturação da ETE Confins, demonstrando coloração bastante esverdeada. ....	90
<b>Figura 5.22</b> - Efluente da lagoa de maturação da ETE Confins, demonstrando coloração bastante esverdeada do efluente. ....	90
<b>Figura 5.23</b> - Gráfico box-plot das concentrações de SST, SSV, SSF e relação SSV/SST ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	94
<b>Figura 5.24</b> - Série temporal da concentração de SST, com média móvel anual para o afluente e efluente do sistema – ETE Confins. ....	94
<b>Figura 5.25</b> - Histogramas de distribuição de frequência das concentrações de SST – ETE Confins. ....	94
<b>Figura 5.26</b> - Comparação dos percentis 25 e 75% da concentração de SST do esgoto bruto da presente pesquisa (linhas vermelhas) com valores reportados na literatura. ....	95
<b>Figura 5.27</b> - Gráfico box-plot das concentrações de sólidos sedimentáveis ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	97
<b>Figura 5.28</b> - Gráficos Box-plot das eficiências de remoção de Sólidos (SST, SSV e SSF) de cada unidade e do sistema – ETE Confins. ....	98
<b>Figura 5.29</b> - Gráficos Box-plot da concentração de DBO e DQO ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	101

<b>Figura 5.30</b> - Série temporal com média móvel anual para as concentrações de DBO e DQO do esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	101
<b>Figura 5.31</b> - Histogramas de distribuição de frequência das concentrações de DBO e DQO – ETE Confins. .	102
<b>Figura 5.32</b> - Comparação das concentrações de DBO e DQO (percentis 25 e 75%) do esgoto bruto da presente pesquisa (linhas vermelhas) com valores médios reportados na literatura. ....	104
<b>Figura 5.33</b> - Gráficos de dispersão com os dados de DQO x Sólidos (SST, SSV e SSF) do efluente da lagoa facultativa e da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	105
<b>Figura 5.34</b> - Gráficos Box-plot da eficiência de remoção de DBO e DQO de cada unidade e do sistema – ETE Confins. ....	107
<b>Figura 5.35</b> - Série temporal da eficiência de remoção de DBO e DQO de cada unidade e do sistema, com média móvel anual (12 termos) – ETE Confins. ....	108
<b>Figura 5.36</b> - Gráficos Box-plot da relação DQO/DBO ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	110
<b>Figura 5.37</b> - Série temporal com média móvel anual para a relação DQO/DBO do esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	111
<b>Figura 5.38</b> - Comparação do valor da relação DQO/DBO do esgoto bruto do AITN com valores reportados na literatura. ....	112
<b>Figura 5.39</b> - Gráficos Box-plot das carga de DBO e DQO aplicadas a cada lagoa e efluentes da ETE Confins (em kg/d). ....	114
<b>Figura 5.40</b> - Gráficos Box-plot das Taxas de Aplicação Superficial de DBO e DQO em cada lagoa (em kg/ha.d) – ETE Confins. ....	115
<b>Figura 5.41</b> - Séries históricas da TAS de DBO (gráficos da esquerda) e DQO (gráficos da direita) na lagoa facultativa e lagoa de maturação, com média móvel de 12 termos – ETE Confins. ....	116
<b>Figura 5.42</b> - Relação entre TAS e concentração de DBO efluente e eficiência de remoção de DBO na lagoa facultativa – ETE Confins. ....	117
<b>Figura 5.43</b> - Relação entre TDH e concentração de DBO efluente e eficiência de remoção de DBO na lagoa facultativa – ETE Confins. ....	118
<b>Figura 5.44</b> - Gráficos Box-plot da concentração de E. coli (NMP/100mL) ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	120
<b>Figura 5.45</b> - Gráficos Box-plot da eficiência de remoção de E. coli de cada lagoa e do sistema – ETE Confins. ....	121
<b>Figura 5.46</b> - Relação entre pH e concentração de OD e eficiência de remoção de E. coli (log de remoção) na lagoa facultativa e lagoa de maturação – ETE Confins. ....	122
<b>Figura 5.47</b> - Gráficos Box-plot da concentração de nitrogênio total ao longo do tratamento – ETE Confins. .	124
<b>Figura 5.48</b> - Gráficos Box-plot da eficiência de remoção de nitrogênio total de cada lagoa e do sistema – ETE Confins. ....	125

<b>Figura 5.49</b> - Gráficos Box-plot da concentração de nitrogênio amoniacal ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	128
<b>Figura 5.50</b> - Gráficos Box-plot da eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal de cada lagoa e do sistema – ETE Confins. ....	130
<b>Figura 5.51</b> - Gráficos Box-plot da concentração de fósforo total ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	132
<b>Figura 5.52</b> - Gráficos Box-plot da eficiência de remoção de fósforo total de cada lagoa e do sistema – ETE Confins. ....	133
<b>Figura 5.53</b> - Gráficos Box-plot da concentração de cloreto ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	134
<b>Figura 5.54</b> - Gráficos Box-plot da eficiência de remoção de cloreto de cada lagoa e do sistema – ETE Confins. ....	136
<b>Figura 5.55</b> - Gráficos Box-plot das concentrações de óleos e graxas ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	137
<b>Figura 5.56</b> - Gráficos Box-plot das eficiências de remoção de óleos e graxas de cada unidade e do sistema – ETE Confins. ....	138
<b>Figura 5.57</b> - Gráficos Box-plot das concentrações de detergentes ao longo do tratamento – ETE Confins. ....	140
<b>Figura 5.58</b> - Organismos encontrados nas lagoas facultativa e de maturação (% de ocorrência por gênero) – ETE Confins. ....	143
<b>Figura 5.59</b> - Organismos encontrados nas lagoas facultativa e de maturação (% de ocorrência por gênero) – ETE Confins. ....	144
<b>Figura 5.60</b> - Organismos encontrados nas lagoas facultativa e de maturação (% de ocorrência por filo) – ETE Confins. ....	144
<b>Figura 5.61</b> - Evolução do volume mensal de lançamento do efluente sanitário das aeronaves na cloaca do AITN – Confins - MG. ....	146
<b>Figura 5.62</b> - Séries temporais do volume mensal de lançamento do efluente da cloaca do AITN e eficiências da ETE na remoção de DBO e DQO. ....	148
<b>Figura 5.63</b> - Volume mensal de lançamento do efluente da cloaca do AITN versus eficiência da ETE na remoção de DBO e DQO. ....	148
<b>Figura 5.64</b> - Volume mensal de lançamento do efluente da cloaca do AITN versus relação DQO/DBO do esgoto bruto. ....	148
<b>Figura 5.65</b> - Gráficos box-plot com as concentrações de DBO, DQO, SST, Óleos e Graxas, pH e Temperatura – efluente da ETE Confins. ....	154
<b>Figura 5.66</b> - Série histórica, com média móvel anual, da eficiência da ETE na remoção de DBO e DQO, sendo a linha vermelha a eficiência mínima a ser atingida. ....	155
<b>Figura 5.67</b> - Gráficos box-plot, com média móvel anual, da eficiência da ETE na remoção de DBO e DQO, sendo a linha vermelha a eficiência mínima a ser atingida. ....	156
<b>Figura 5.68</b> - Sentido do vento na superfície das lagoas na ETE Confins. ....	159

<b>Figura 5.69</b> - Chegada do corante no primeiro PV da lagoa facultativa e distribuição da vazão – ETE Confins. .....	160
<b>Figura 5.70</b> - Surgimento do corante na lagoa facultativa (esquerda) e de maturação (direita) – ETE Confins.	161
<b>Figura 5.71</b> - Visualização do corante após mistura do fluido na entrada da lagoa facultativa (esquerda) e da lagoa de maturação (direita) – ETE Confins. ....	161
<b>Figura 5.72</b> - Visualização do corante após lançamento superficial nas entradas e em vários pontos na lagoa facultativa (fotos da esquerda) e maturação (direita) – ETE Confins.....	162
<b>Figura 5.73</b> - Principais tendências de fluxo evidenciadas pelo corante na lagoa facultativa (foto da esquerda) e maturação (direita) da ETE Confins - Vista em planta.....	163
<b>Figura 5.74</b> - Laranjas lançadas próximo à entrada na lagoa facultativa – ETE Confins. ....	164
<b>Figura 5.75</b> - Laranjas lançadas próximo à entrada na lagoa de maturação – ETE Confins.....	164
<b>Figura 5.76</b> - Principais tendências de fluxo evidenciadas pelo corante na lagoa facultativa (foto da esquerda) e maturação (direita) da ETE Confins - Vista em planta.....	165
<b>Figura 5.77</b> - Destaque do drogue flutuando na lagoa facultativa (esquerda) e na lagoa de maturação (direita) – ETE Confins. ....	165
<b>Figura 5.78</b> - Trajetória do drogue na lagoa facultativa, com indicação do ponto de lançamento – ETE Confins. .....	166
<b>Figura 5.79</b> - Trajetória do drogue na lagoa de maturação, com indicação do ponto de lançamento – ETE Confins .....	166
<b>Figura 5.80</b> - Modelo da distribuição espacial do lodo acumulado na lagoa facultativa (altura do lodo em metros) – ETE Confins. ....	168
<b>Figura 5.81</b> - Modelo da distribuição espacial do lodo acumulado na lagoa facultativa (% da profundidade total ocupado pelo lodo) – ETE Confins. ....	168
<b>Figura 5.82</b> - Modelo da distribuição espacial do lodo acumulado na lagoa de maturação (altura do lodo em metros) – ETE Confins. ....	170
<b>Figura 5.83</b> - Modelo da distribuição espacial do lodo acumulado na lagoa de maturação (% da profundidade total ocupado pelo lodo) – ETE Confins. ....	170
<b>Figura 5.84</b> - Geometria tridimensional construída da lagoa facultativa da ETE Confins – vista do plano XY.	172
<b>Figura 5.85</b> - Geometria tridimensional construída da lagoa facultativa da ETE Confins – vista em perspectiva. .....	173
<b>Figura 5.86</b> - Geometria tridimensional construída da lagoa de maturação da ETE Confins – vista do plano XY. .....	173
<b>Figura 5.87</b> - Geometria tridimensional construída da lagoa de maturação da ETE Confins – vista em perspectiva.....	173
<b>Figura 5.88</b> - Malha de cálculo gerada - lagoa facultativa da ETE Confins – vista do plano XY. ....	174

<b>Figura 5.89</b> - Malha de cálculo gerada - lagoa facultativa da ETE Confins – vista do fundo no plano XY.....	174
<b>Figura 5.90</b> - Malha de cálculo gerada - lagoa facultativa da ETE Confins – vista em perspectiva.....	175
<b>Figura 5.91</b> - Malha de cálculo gerada - lagoa facultativa da ETE Confins – detalhe do refinamento em uma das entradas.....	175
<b>Figura 5.92</b> - Malha de cálculo gerada - lagoa de maturação da ETE Confins – vista do plano XY. ....	175
<b>Figura 5.93</b> - Malha de cálculo gerada - lagoa de maturação da ETE Confins – detalhe do refinamento em uma das entradas. ....	176
<b>Figura 5.94</b> - Vetores de velocidade tridimensionais obtidos com o modelo em CFD na lagoa facultativa – Plano Z = 1,70m. ....	179
<b>Figura 5.95</b> - Vetores de velocidade bidimensionais obtidos com o modelo em CFD na lagoa facultativa – Plano Z = 1,70m. ....	180
<b>Figura 5.96</b> - Vetores de velocidade uniformemente distribuídos na lagoa facultativa – Plano Z = 1,70m.....	180
<b>Figura 5.97</b> - Superfícies de contorno - velocidades na lagoa facultativa no plano Z = 1,7m.....	181
<b>Figura 5.98</b> - Superfícies de contorno – velocidades nas direções x, y e z da lagoa facultativa no plano Z = 1,7m. ....	181
<b>Figura 5.99</b> - Linhas de fluxo na lagoa facultativa – plano XY em Z = 1,7m. ....	182
<b>Figura 5.100</b> - Comparação entre as linhas de fluxo obtidas com a modelagem e o trajeto obtido por meio do ensaio com o drogue. ....	183
<b>Figura 5.101</b> - Superfícies de contorno – frequência dos turbilhões no plano Z = 1,7m da lagoa facultativa. ....	184
<b>Figura 5.102</b> - Superfícies de contorno – energia cinética turbulenta no plano Z = 1,7m da lagoa facultativa. ....	184
<b>Figura 5.103</b> - Vetores de velocidade na entrada da lagoa facultativa – vista em corte, plano ZY. ....	185
<b>Figura 5.104</b> - Vetores de velocidade no vertedor de saída da lagoa facultativa - vista em corte, plano ZY. ....	185
<b>Figura 5.105</b> - Vetores de velocidade na superfície da lagoa facultativa – efeito do vento.....	186
<b>Figura 5.106</b> - Superfícies de contorno – dispersão do traçador virtual na lagoa facultativa em vários tempos de simulação (após 1, 2, 5, 10, 15, 30, 50 e 240 dias, da esquerda para a direita). ....	187
<b>Figura 5.107</b> - Monitoramento do traçador na saída da lagoa facultativa durante o processamento da simulação. ....	188
<b>Figura 5.108</b> - Curva do traçador – lagoa facultativa. ....	188
<b>Figura 5.109</b> - Vetores de velocidade tridimensionais na lagoa de maturação – Plano XY em Z = 0,6m.....	190
<b>Figura 5.110</b> - Vetores de velocidade na lagoa de maturação – distribuição uniforme - Plano XY em Z = 0,6m. ....	190
<b>Figura 5.111</b> - Superfícies de contorno com os valores de velocidade na lagoa de maturação - Plano XY em Z = 0,6m.....	190

<b>Figura 5.112</b> - Superfícies de contorno – velocidades nas direções x, y e z na lagoa de maturação - Plano XY em Z = 0,6m. ....	191
<b>Figura 5.113</b> - Linhas de fluxo na lagoa de maturação – plano XY em Z = 0,6m.....	191
<b>Figura 5.114</b> - Comparação entre as linhas de fluxo obtidas com a modelagem e o trajeto obtido por meio do ensaio com o drogue – lagoa de maturação. ....	192
<b>Figura 5.115</b> - Superfícies de contorno – frequência dos turbilhões no plano Z = 0,6m da lagoa de maturação. ....	193
<b>Figura 5.116</b> - Superfícies de contorno – energia cinética turbulenta no plano Z = 0,6m da lagoa de maturação. ....	193
<b>Figura 5.117</b> - Vetores de velocidade na entrada da lagoa de maturação – vista em corte, plano ZY.....	194
<b>Figura 5.118</b> - Vetores de velocidade na superfície – efeito do vento na lagoa de maturação. ....	194
<b>Figura 5.119</b> - Curva do traçador – lagoa de maturação.....	195
<b>Figura 5.120</b> - Dispersão do traçador no plano XY (Z = 0,6m) – lagoa de maturação.....	195

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> - Condições e padrões para lançamento de efluentes de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, de acordo com a Resolução CONAMA n° 430/2011.....	21
<b>Tabela 3.2</b> - Alguns padrões para lançamento de efluentes, de acordo com a DN COPAM/CERH-MG n° 01/2008.....	22
<b>Tabela 3.3</b> - Eficiências características de lagoas facultativas (VON SPERLING, 2002). .....	26
<b>Tabela 3.4</b> - Concentrações e eficiências médias de remoção dos diversos constituintes em lagoas facultativas.	26
<b>Tabela 3.5</b> - Valores de média e mediana para remoção de matéria orgânica em lagoas de maturação. ....	27
<b>Tabela 3.6</b> - Eficiências características de um sistema lagoa facultativa – lagoa de maturação. ....	28
<b>Tabela 3.7</b> - Caracterização do efluente do Aeroporto Val-de-Cans (Belém-PA).....	31
<b>Tabela 3.8</b> - Caracterização do efluente do Aeroporto de Qingdao, China. ....	32
<b>Tabela 4.1</b> - Principais dimensões da grade.....	42
<b>Tabela 4.2</b> - Principais dimensões/características da lagoa facultativa.....	44
<b>Tabela 4.3</b> - Principais dimensões/características da lagoa de maturação. ....	45
<b>Tabela 4.4</b> - Etapas metodológicas para modelagem em CFD. ....	59
<b>Tabela 4.5</b> – Propriedades do fluido definidas para a simulação em CFD. ....	67
<b>Tabela 5.1</b> - Concentração média, mediana e desvio padrão das variáveis de qualidade do efluente.....	69
<b>Tabela 5.2</b> - Eficiência média de remoção de algumas variáveis, para cada unidade e para o sistema. ....	70
<b>Tabela 5.3</b> - Estatísticas descritivas dos dados climáticos e meteorológicos referentes à plataforma do AITN – Confins - MG.....	74
<b>Tabela 5.4</b> - Estatísticas descritivas das vazões afluentes à ETE Confins (em L/s), dados de 1994 a 2010.....	78
<b>Tabela 5.5</b> - Estatísticas descritivas – TDH (dias) teórico das lagoas da ETE Confins.....	81
<b>Tabela 5.6</b> - Estatísticas descritivas do pH, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.....	83
<b>Tabela 5.7</b> - Estatísticas descritivas da alcalinidade do esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	84
<b>Tabela 5.8</b> - Estatísticas descritivas da temperatura (°C) do ar, esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.....	86
<b>Tabela 5.9</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L), para o efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	89
<b>Tabela 5.10</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de SST (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	92

<b>Tabela 5.11</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de SSV (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	92
<b>Tabela 5.12</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de SSF (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	93
<b>Tabela 5.13</b> - Estatísticas descritivas das relações SSV/SST, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.....	93
<b>Tabela 5.14</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de SSed (mL/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	97
<b>Tabela 5.15</b> - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção (%) de SST, SSV e SSF, para a lagoa facultativa (LF), lagoa de maturação (LM) e Sistema (SIST) – ETE Confins. ....	98
<b>Tabela 5.16</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de DBO (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	100
<b>Tabela 5.17</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de DQO (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	100
<b>Tabela 5.18</b> - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de DBO e DQO (%), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins. ....	107
<b>Tabela 5.19</b> - Estatísticas descritivas das relações DQO/DBO, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	110
<b>Tabela 5.20</b> - Estatísticas descritivas da carga de DBO aplicada a cada lagoa e a carga efluente do sistema (em kg/d) – ETE Confins.....	113
<b>Tabela 5.21</b> - Estatísticas descritivas da carga de DQO aplicada a cada lagoa e a carga efluente do sistema (em kg/d) – ETE Confins.....	114
<b>Tabela 5.22</b> - Estatísticas descritivas da TAS de DBO e DQO em cada lagoa (kg/ha.d) – ETE Confins. ....	115
<b>Tabela 5.23</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de E. coli, em NMP/100mL, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	120
<b>Tabela 5.24</b> - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de E. coli (unidades logarítmicas), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins.....	121
<b>Tabela 5.25</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de Nitrogênio Total (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	124
<b>Tabela 5.26</b> - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de nitrogênio total (%), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins. ....	125
<b>Tabela 5.27</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	128
<b>Tabela 5.28</b> - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de nitrogênio amoniacal (%), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins.....	129

<b>Tabela 5.29</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de fósforo total (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.....	131
<b>Tabela 5.30</b> - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de fósforo total (%), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins. ....	133
<b>Tabela 5.31</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de cloreto, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins. ....	134
<b>Tabela 5.32</b> - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de cloreto (%), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins. ....	135
<b>Tabela 5.33</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de óleos e graxas (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.....	137
<b>Tabela 5.34</b> - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de óleos e graxas (%), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins. ....	138
<b>Tabela 5.35</b> - Estatísticas descritivas das concentrações de detergentes (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.....	140
<b>Tabela 5.36</b> - Gêneros de algas identificados nos efluentes de lagoas facultativas e de maturação. ....	142
<b>Tabela 5.37</b> - Caracterização físico-química do efluente da cloaca do AITN – Confins - MG.....	147
<b>Tabela 5.38</b> - Valores de K (d-1), para a lagoa facultativa e lagoa de maturação, considerando os regimes de fluxo em pistão, mistura completa e fluxo disperso – ETE Confins.....	152
<b>Tabela 5.39</b> - Valores de Kb (d-1), para a lagoa facultativa e lagoa de maturação, considerando os regimes de fluxo em pistão e mistura completa e fluxo disperso – ETE Confins.....	152
<b>Tabela 5.40</b> - Velocidade média do vento (km/h) na ETE Confins – Medições de campo. ....	158
<b>Tabela 5.41</b> - Volume útil e da camada de lodo nas lagoas da ETE Confins. ....	171
<b>Tabela 5.42</b> - Taxas de acumulação de lodo em lagoas facultativas e de maturação.....	172
<b>Tabela 5.43</b> - Estatística dos números de nós e elementos tetraédricos na malha volumétrica das lagoas. ....	176
<b>Tabela 5.44</b> - Resumo das principais definições de simulação para a modelagem em CFD – Lagoa facultativa. ....	177
<b>Tabela 5.45</b> - Resumo das principais condições de contorno para a modelagem em CFD – Lagoa facultativa. ....	177
<b>Tabela 5.46</b> - Resumo das principais definições de simulação para a modelagem em CFD – Lagoa de maturação. ....	178
<b>Tabela 5.47</b> - Resumo das principais condições de contorno para a modelagem em CFD – Lagoa de maturação. ....	178
<b>Tabela 5.48</b> - Graus de dispersão em unidades de tratamento de esgotos (METCALF e EDDY, 2003).....	198
<b>Tabela 5.49</b> – Números de dispersão (d) obtidos para as duas lagoas com base em equações de literatura e comparação com os obtidos com as curvas de traçador. ....	199

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

**AFMV** – Advancing Front Volume Mesher

**AITN** – Aeroporto Internacional Tancredo Neves

**CERH** – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

**CFD** – *Computational Fluid Dynamics*

**CONAMA** – Conselho Nacional do Meio Ambiente

**COPAM** – Conselho Estadual de Política Ambiental

**COPASA** – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

**DBO** – Demanda Bioquímica de Oxigênio

**DN** – Deliberação Normativa

**DP** – Desvio Padrão

**DQO** – Demanda Química de Oxigênio

**EG** – Etileno Glicol

**ETE** – Estação de Tratamento de Esgoto

**ETEI** – Estação de Tratamento de Efluentes Industriais

**GPS** – *Global Positioning System*

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**INFRAERO** – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

**K** – Coeficiente de Degradação de Matéria Orgânica

**K<sub>b</sub>** – Coeficiente de Decaimento Bacteriano

**L/B** – Comprimento/Largura

**LAS** – Sulfonato de Alquil Benzeno Linear

**MBAS** – *Methylene Blue Active Substances*

**NA** – Nível de Água

**Neb Med** – Nebulosidade Média

**NTK** – Nitrogênio Total Kjeldahl

**OD** – Oxigênio Dissolvido

**PEAD** – Polietileno de Alta Densidade

**PG** – Propileno Glicol

**pH** – Potencial Hidrogeniônico

**PPT** – Precipitação

**PVC** – Cloreto de Polivinila

**QTU** – Veículo para coleta de dejetos

**RMSE** – *Root Mean Square Error*

**SS** – Sólidos em Suspensão

**SSed** – Sólidos Sedimentáveis

**SSF** – Sólidos em Suspensão Fixos

**SST** – Sólidos em Suspensão Totais

**SSV** – Sólidos em Suspensão Voláteis

**ST** – Sólidos Totais

**TAS** – Taxa de Aplicação Superficial

**TDH** – Tempo de Detenção Hidráulica

**UFES** – Universidade Federal do Espírito Santo

**UR** – Umidade Relativa

**USEPA** – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

**UTM** – Sistema Universal Transverso de Mercator

**UV** – Ultravioleta

**Vel Vnt** – Velocidade do Vento

# 1 INTRODUÇÃO

Lagoas de estabilização são sistemas de tratamento de águas residuárias amplamente utilizados em todo mundo, proporcionando diversos benefícios ao meio ambiente e à saúde pública. No tratamento de esgotos domésticos, esse tipo de sistema é utilizado com sucesso e com grandes vantagens, dada a associação entre simplicidade operacional e elevadas eficiências de remoção de poluentes que se observa no tratamento. Os principais mecanismos de remoção de poluentes em uma lagoa de estabilização são de natureza biológica, onde os próprios microrganismos presentes naturalmente no esgoto degradam a matéria orgânica e atuam no tratamento do efluente.

Dentre os sistemas de lagoas de estabilização, o processo de lagoas facultativas é o mais simples (VON SPERLING, 2005a), no qual atividades naturais de algas e bactérias ocorrem associadas a condições físicas e químicas do ambiente, favorecendo a estabilização da matéria orgânica (principalmente) e até mesmo remoção de nutrientes e patógenos. Variáveis de projeto e operação importantes são a taxa de aplicação orgânica superficial (TAS) e o tempo de detenção hidráulica (TDH), de forma a garantir as condições de carga e um tempo mínimo para que os processos naturais ocorram, bem como a configuração geométrica das lagoas, na tentativa de se determinar uma condição de fluxo conhecida para cada unidade do sistema.

As lagoas de maturação são variantes dos sistemas de lagoas utilizadas principalmente para remoção de patógenos e nutrientes. Portanto, permitem que o efluente tenha um polimento, principalmente relacionado à remoção de patógenos, antes da disposição final.

Tais sistemas são bastante utilizados para tratamento de esgotos de centros urbanos, rurais e de diversos segmentos industriais.

Eventos de baixa eficiência de tratamento podem estar relacionados à fatores climáticos; configuração geométrica das lagoas; posicionamento dos dispositivos de entrada e saída do esgoto; à operação, mais especificamente, das condições e do tempo de acumulação do lodo de fundo. Outra explicação levaria em conta a influência do lançamento de efluentes na rede coletora com características não-domésticas, prejudicando o tratamento que é essencialmente biológico. Essas hipóteses foram elencadas em separado, mas sabe-se que todos esses fatores podem estar relacionados entre si.

A Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) que atende o Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins – MG realiza o tratamento dos efluentes de todo o complexo aeroportuário, incluindo áreas administrativas, operacionais, hangares e o efluente sanitário das aeronaves (com possibilidade de ter características não-domésticas). O sistema entrou em operação em 1985, e é composto por unidades de tratamento preliminar (grade manual) e de medição de vazão (calha *Parshall*), e um sistema de lagoas, composto de uma lagoa de estabilização facultativa seguida de uma lagoa de maturação. O lodo das lagoas nunca foi removido. A ETE atualmente está em sub-carga e, ainda assim, apresenta eventos de baixa eficiência na remoção de alguns parâmetros.

Como um estudo de caso para o diagnóstico de um sistema de lagoas utilizando dados de monitoramento (constituintes de qualidade do esgoto; medição do lodo nas lagoas; ensaios hidrodinâmicos de campo) e modelagem computacional, o objetivo geral do trabalho consiste na avaliação de desempenho da ETE-Confins levando em conta as hipóteses comentadas anteriormente e com base nessas duas abordagens.

A análise estatística de dados de monitoramento de constituintes físicos, químicos e microbiológicos nas lagoas, de 1994 a 2010, permitiu a avaliação de desempenho da ETE no que concerne a essas variáveis. Foram também analisados dados qualitativos de fitoplâncton.

A influência do efluente sanitário das aeronaves foi verificada por meio de comparação entre volumes mensais de lançamento do mesmo com parâmetros de monitoramento da ETE, principalmente aqueles relacionados à biodegradabilidade do esgoto e eficiências de remoção. Também foi feita a caracterização física e química desse efluente.

Na tentativa de se discutir a influência do lodo de fundo no desempenho do sistema foi realizado o levantamento batimétrico das lagoas, por meio de leitura do nível do lodo em pontos distribuídos nas lagoas. A construção de superfícies de contorno indicou regiões de maior acúmulo, bem como taxas de geração de lodo nas duas lagoas.

Finalmente, de modo a avaliar as condições hidráulicas de funcionamento das lagoas, foi construído um modelo em CFD (Fluidodinâmica Computacional), que evidenciou linhas de fluxo principais, regiões de zonas-mortas e de curto-circuito. Foram também realizados ensaios de campo com *drogues*, medição de vento e corantes, tendo em vista a obtenção de

informações importantes sobre o fluxo real nas lagoas e como meio de validação do modelo em CFD.

Espera-se que o trabalho venha a contribuir aos estudos de desempenho de lagoas de estabilização facultativas e lagoas de maturação, com vistas à atribuição de causas prováveis a um melhor ou pior desempenho que foi apresentado pelo sistema. O trabalho também discute, mesmo que de forma preliminar, o comportamento desse sistema tratando efluentes de um aeroporto, cujas referências em literatura são escassas.

Ao incorporar a ferramenta de Fluidodinâmica Computacional (CFD), obteve-se um diagnóstico bastante representativo das condições hidrodinâmicas do sistema, reforçando a utilização dessa ferramenta como grande auxiliar em avaliações de desempenho de lagoas em escala real. Com relação a esse último ponto, diversos autores, como Shilton *et al.* (2008), afirmam haver poucas evidências científicas sobre a validação dos modelos de CFD em lagoas de escala plena. Ademais, apesar de não ter sido feita pesquisa minuciosa, parece não haver referências na literatura nacional (ou poucas ocorrências) a respeito da utilização de CFD em lagoas de estabilização.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o desempenho do sistema de lagoas de tratamento de efluentes do Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Confins - MG, por meio de análises de dados de monitoramento e de modelagem em CFD (Fluidodinâmica Computacional).

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar o desempenho da lagoa facultativa e da lagoa de maturação com base em séries de dados de monitoramento de parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos (fitoplâncton);
- caracterizar as condições de acúmulo de lodo por meio de levantamento batimétrico das lagoas e construção de superfície de contorno;
- avaliar o comportamento hidrodinâmico das lagoas por meio de ensaios de campo com corante e *drogues*;
- avaliar o comportamento hidrodinâmico das lagoas por meio de modelagem em CFD (Fluidodinâmica Computacional).

### **3 REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1 Aspectos da regulamentação ambiental referente a lançamentos de efluentes em corpos d'água**

Discutem-se, neste tópico, aspectos da regulamentação ambiental referente a lançamento de efluentes em corpos d'água. Tais são apresentados em sequência hierárquica: primeiro a regulamentação nacional, depois a regulamentação estadual; mesmo não obedecendo, necessariamente, uma sequência temporal.

A regulamentação nacional, por meio da Resolução CONAMA nº 357 de 2005 (CONAMA, 2005), define padrões e condições a serem atendidos para lançamento de efluentes em corpos d'água, além de dispor sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. A cada classe do enquadramento (1, 2, 3 ou 4; da mais para a menos restritiva) está associado um conjunto de valores-limite de referência a serem obedecidos para a qualidade da água, independentemente se satisfeitos os critérios de lançamento de efluentes. Além disso, os padrões e recomendações são estabelecidos de acordo com o uso previsto para a água. No Brasil, a maioria dos corpos receptores se enquadra na classe 2.

Posteriormente, a Resolução CONAMA nº 430 de maio de 2011 (CONAMA, 2011) complementou e alterou algumas diretrizes da Resolução CONAMA nº 357. As principais alterações envolvem definições e diretrizes para gestão de efluentes, definição de condições e parâmetros específicos para efluentes de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, novas exigências para efluentes oriundos de serviços de saúde e normas para lançamento de efluentes por meio de emissários submarinos. A Tabela 3.1 contém as condições e padrões preconizados por esta resolução, específicos para efluentes de sistemas de tratamento de esgoto sanitário.

**Tabela 3.1 - Condições e padrões para lançamento de efluentes de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, de acordo com a Resolução CONAMA n° 430/2011.**

<b>PARÂMETRO</b>	<b>VALOR LIMITE</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
pH	5,0 – 9,0	-
Temperatura (°C)	< 40	A variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura
Materiais sedimentáveis (mL/L)	1	Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes
Óleos e graxas (mg/L)	100	-
DBO (mg/L)	120	Este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor
Materiais flutuantes	Ausente	-

Segundo essa resolução, outros parâmetros listados na seção de ‘efluentes de qualquer fonte poluidora’ poderão ser aplicados para os efluentes de sistemas de tratamento de esgoto sanitário, com exceção do padrão de nitrogênio amoniacal total, que não é exigível.

Em Minas Gerais, a classificação dos corpos d’água e as diretrizes para o enquadramento, bem como as condições e os padrões de lançamento de efluentes, são normatizados por meio da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01, de 05 de maio de 2008; norma derivada da resolução CONAMA n° 357, com maior detalhamento. A DN Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01 introduziu mais parâmetros e padrões de lançamento, como DBO e DQO, além de valores mais restritivos. A Tabela 3.2 apresenta alguns dos critérios a serem atendidos para o lançamento de efluentes, de acordo com essa norma (COPAM, 2008).

**Tabela 3.2** - Alguns padrões para lançamento de efluentes, de acordo com a DN COPAM/CERH-MG n° 01/2008.

<b>PARÂMETRO</b>	<b>VALOR LIMITE</b>	<b>OBSERVAÇÕES</b>
pH	6,0 – 9,0	-
Temperatura	< 40	A variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura
Materiais sedimentáveis (mL/L)	1	Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes
Óleos e graxas (mg/L)	20 <sup>(a)</sup> e 50 <sup>(b)</sup>	(a) Óleos minerais e (b) Óleos vegetais e gorduras animais
DBO (mg/L)	60	Ou tratamento com eficiência de redução de DBO em no mínimo 60% e média anual igual ou superior a 70% para sistemas de esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais. Para os demais sistemas os valores são de 75% e 85%, respectivamente.
DQO (mg/L)	180	Ou tratamento com eficiência de redução de DQO em no mínimo 55% e média anual igual ou superior a 65% para sistemas de esgotos sanitários e de percolados de aterros sanitários municipais. Para os demais sistemas os valores são de 70% e 75%, respectivamente.
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	100	Admitido até 150 mg/L nos casos de lagoas de estabilização

Nos casos em que a legislação estadual apresentar-se mais restritiva ou contiver parâmetros não contemplados na legislação federal, faz-se desta a base para o atendimento.

### **3.2 Lagoas de estabilização**

De acordo com Mara (2004), as lagoas de estabilização são grandes unidades construídas com diques de terra nas quais o esgoto é tratado por processos completamente naturais que envolvem algas e bactérias. No tratamento de esgotos domésticos, esse tipo de sistema é utilizado com sucesso e com grandes vantagens, dada a associação entre simplicidade operacional e elevadas eficiências de remoção de poluentes que se observa no tratamento. Von Sperling (2002) cita que as principais desvantagens estão relacionadas aos elevados requisitos de área, à variação do desempenho com as condições climáticas e a eventual necessidade de remoção de algas do efluente para o cumprimento de padrões de lançamento.

A rigor, as terminologias “lagoas de estabilização” ou “lagoas de oxidação” se referem apenas às unidades destinadas a estabilizar ou oxidar a matéria orgânica; portanto, se aplicariam às lagoas anaeróbias e facultativas e não se aplicariam às lagoas de maturação. Entretanto, há

registros na literatura nas quais as lagoas de maturação, e demais variantes, são incluídas, de forma mais genérica, como “lagoas de estabilização”.

Kellner e Pires (1998) incluem, como lagoas de estabilização, as lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação.

De forma mais abrangente, Jordão e Pessoa (2011) classificam as lagoas de estabilização como:

- *anaeróbias*: nas quais predominam processos de fermentação anaeróbia; imediatamente abaixo da superfície não existe oxigênio dissolvido;

- *facultativas*: nas quais ocorrem, simultaneamente, processos de fermentação anaeróbia, oxidação aeróbia e redução fotossintética; uma zona anaeróbia de atividade bêntica é sobreposta por uma zona aeróbia de atividade biológica, próxima à superfície; as lagoas facultativas são chamadas *primárias*, quando recebem esgoto bruto, e *secundárias* quando recebem o efluente de outra lagoa, em geral anaeróbia;

- *estritamente aeróbias*: nas quais se chega a um equilíbrio da oxidação e da fotossíntese para garantir condições aeróbias em todo meio;

- *de maturação*: têm como objetivo principal remover organismos patogênicos; reduz bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos; a parcela de redução de sólidos em suspensão e da DBO é negligenciável;

- *de polimento*: têm como objetivo principal o refinamento de outro processo biológico, em particular de um reator anaeróbio de fluxo ascendente, objetivando uma remoção adicional de DBO, nutrientes e organismos patogênicos;

- *aeradas*: nas quais se introduz o oxigênio no meio líquido através de um sistema mecânico de aeração; as lagoas aeradas podem ser estritamente aeradas ou aeradas facultativas. As lagoas aeradas de mistura completa devem ser seguidas de uma lagoa de sedimentação; e

- *com macrófitas*: usadas como polimento final de um tratamento por lagoas, com objetivo de reduzir nutrientes, sólidos em suspensão e a DBO remanescente. Várias experiências práticas indicam também a redução de metais. Este tipo de lagoa requer manutenção intensiva (corte

regular das plantas que crescem rapidamente, secagem e destino final), e as áreas sombreadas incentivam a proliferação de moscas e mosquitos, razões pelas quais não é recomendável.

Uehara e Vidal (1989) apresentam a classificação “lagoas aeróbias”, com a seguinte definição: “lagoas rasas que permitem a penetração de luz em toda a sua profundidade. As lagoas aeróbias de alta taxa têm profundidade de 0,30m a 0,50m e são misturadas mecanicamente de modo a expor todas as algas a luz solar, evitando assim o desenvolvimento de uma camada de lodo ao fundo. São projetadas e operadas para maximizar a produção de algas”.

Com relação às lagoas facultativas e de maturação, pode-se afirmar que as primeiras são concebidas para remoção de DBO e as segundas para remoção de patógenos. Nesse sentido, pode-se afirmar que as lagoas de estabilização facultativas cumprem o papel de atendimento de proteção ambiental, enquanto as lagoas de maturação visam à proteção da saúde pública (JORDÃO e PESSOA, 2011).

### **3.2.1 Lagoas Facultativas**

As lagoas facultativas são a variante mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização. Basicamente, o processo consiste na retenção dos esgotos por um período de tempo longo o suficiente para que processos naturais de estabilização de matéria orgânica se desenvolvam. As principais vantagens e desvantagens das lagoas facultativas estão associadas, portanto, à predominância dos fenômenos naturais (VON SPERLING, 2002).

As principais reações biológicas que ocorrem nas lagoas facultativas incluem a decomposição da matéria orgânica carbonácea por bactérias facultativas (DBO solúvel e finamente particulada); nitrificação da matéria orgânica nitrogenada por bactérias; produção de oxigênio na camada superior através da fotossíntese das microalgas e redução da matéria orgânica carbonácea (parte da DBO em suspensão que sedimenta) por bactérias anaeróbias no fundo da lagoa. De forma geral, existe um equilíbrio entre o oxigênio consumido na respiração das bactérias responsáveis pela degradação da matéria orgânica e o oxigênio produzido pelas algas.

Alguns autores citam para as lagoas facultativas profundidades que variam de 1,5 a 2,5m e tempo de detenção hidráulica (TDH) próximo de 10 dias (YANES, 2003 *apud* TAKEUTI,

2003); 1,0 a 1,5m e TDH próximo de 20 dias (KELLNER e PIRES, 1998); 1,0 a 2,0m e TDH em torno de 15 a 35 dias (UEHARA e VIDAL, 1989); 1,5 a 2,0m e TDH de 15 a 45 dias (VON SPERLING, 2002) e 1,2 a 2,4m e TDH de 5 a 30 dias (METCALF e EDDY, 1991).

As lagoas facultativas podem ser primárias (caso recebam efluente bruto) ou secundárias (caso recebam efluente de outra unidade de tratamento).

### **3.2.2 Lagoas de Maturação**

As lagoas de maturação constituem unidades de pós-tratamento, em geral de lagoas facultativas ou de reatores anaeróbios.

Geralmente projetadas com pequenas profundidades, as lagoas de maturação podem atingir elevadas eficiências na remoção de microrganismos. Bactérias e vírus são removidos ou inativados, principalmente, em razão da exposição prolongada à radiação solar (raios UV), pH alcalino e elevados valores de oxigênio dissolvido. Tais fatores estão associados à atividade fotossintética da biomassa algal (CURTIS *et al*, 1992). Além disso, ovos de helmintos e cistos de protozoários tendem a sedimentar (VON SPERLING, 2002). Portanto, o objetivo principal das lagoas de maturação é a remoção de organismos patogênicos, constituindo opção bastante econômica à desinfecção do efluente por métodos mais convencionais, como a cloração (VON SPERLING, 2002).

Alguns autores citam profundidades usuais em lagoas de maturação de 0,8 a 1,0m (VON SPERLING, 2002) e 1,0 a 1,5m (KELLNER e PIRES, 1998). Para o TDH, Kellner e Pires (1998) e Jordão e Pessôa (2011) sugerem 7 dias e Mara (1996) *apud* von Sperling (2002) recomenda o mínimo de 3 dias em cada lagoa, de modo a evitar curtos-circuitos e varrimento de algas.

### **3.2.3 Desempenho de lagoas de estabilização**

#### **3.2.3.1 Lagoas facultativas**

As lagoas facultativas geralmente apresentam boa eficiência de tratamento. A matéria orgânica dissolvida no efluente é bastante estável e a DBO geralmente encontra-se entre 30 e 50 mg/L (havendo separação de algas, a concentração pode ser reduzida para 20 a 30 mg/L).

Em termos de eficiência de remoção de DBO, a faixa típica situa-se entre 75 e 85% (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

Von Sperling (2002) apresenta as seguintes faixas típicas de eficiência das lagoas facultativas para alguns parâmetros de qualidade (Tabela 3.3):

**Tabela 3.3** - Eficiências características de lagoas facultativas (VON SPERLING, 2002).

<b>PARÂMETRO</b>	<b>EFICIÊNCIA (%)</b>
DBO	75 - 85
DQO	65 - 80
SS	70 - 80
Amônia	< 50
Nitrogênio	< 60
Fósforo	< 35
Coliformes	90 - 99

Oliveira e von Sperling (2005a), analisando o desempenho de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias, relataram as seguintes concentrações afluentes, efluentes e eficiências médias observadas para lagoas facultativas (73 lagoas em Minas Gerais e São Paulo), apresentadas na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4** - Concentrações e eficiências médias de remoção dos diversos constituintes em lagoas facultativas.

	<b>DBO</b>	<b>DQO</b>	<b>SST</b>	<b>NTK</b>	<b>P Total</b>	<b>Coliformes</b>
<b>Afluente</b>	553 mg/L	1187 mg/L	430 mg/L	69 mg/L	9 mg/L	5,3x10 <sup>7</sup> org/100mL
<b>Efluente</b>	136 mg/L	525 mg/L	216 mg/L	38 mg/L	4 mg/L	1,2x10 <sup>6</sup> org/100mL
<b>EFICIÊNCIA</b>	<b>75%</b>	<b>55%</b>	<b>48%</b>	<b>44%</b>	<b>46%</b>	<b>1,6 Log</b>

Em relação ao desempenho na remoção de coliformes, von Sperling (2005b), avaliando 186 diferentes lagoas facultativas e de maturação em todo o mundo, constatou remoção de 1,8 unidades logarítmicas para lagoas facultativas primárias e 1,0 unidade logarítmica para lagoas facultativas secundárias (medianas).

### 3.2.3.2 Lagoas de maturação

Em lagoas de maturação, a remoção de matéria orgânica expressa como DBO e DQO é baixa e não excede a 25%. Como abordagem prática, é possível considerar uma remoção média de 20% (SILVA, 2006). Esta remoção vai decrescendo ao longo de lagoas de maturação em série.

Como regra simplificadora de projetos considera-se que a carga orgânica superficial máxima admissível é de 75% do valor daquela utilizada no dimensionamento de lagoas facultativas. As eficiências de remoção para bactérias podem chegar até 6 unidades logarítmicas, vírus 4 unidades logarítmicas e 100% de remoção de ovos de helmintos e cistos de protozoários (MARA *et al.*, 1992). Tais eficiências também são citadas por Jordão e Pessôa (2011). Arceivala (1981) *apud* von Sperling (2002) também cita eliminação total de cistos de protozoários e ovos de helmintos.

Silva (2006), compilando trabalhos realizados por Silva *et al.* (1996), Pearson *et al.* (1996), Oliveira *et al.* (1996), Nogueira *et al.* (1999), Araújo *et al.* (2003) e Moreira *et al.* (2003) apresenta valores de média e mediana para remoção de matéria orgânica em lagoas de maturação primárias, secundárias e terciárias (Tabela 3.5).

**Tabela 3.5** - Valores de média e mediana para remoção de matéria orgânica em lagoas de maturação.

PARÂMETRO	TIPO DE LAGOA DE MATURAÇÃO					
	PRIMÁRIA		SECUNDÁRIA		TERCIÁRIA	
	MÉDIA	MEDIANA	MÉDIA	MEDIANA	MÉDIA	MEDIANA
DBO (%)	25,9	22,6	13,6	22,0	19,8	21,1
DQO (%)	-19,4	-19,0	4,8	0,2	-31,6	-4,1

Insta salientar que a saída de algas com o efluente das lagoas de maturação pode ser responsável pela redução na eficiência de remoção de DBO e DQO.

### 3.2.3.3 Sistema Lagoa facultativa – Lagoa de maturação

Gonçalves (2003) apresenta as seguintes faixas de eficiências de remoção de constituintes físicos, químicos e microbiológicos em sistemas de lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação (Tabela 3.6):

**Tabela 3.6** - Eficiências características de um sistema lagoa facultativa – lagoa de maturação.

<b>PARÂMETRO</b>	<b>EFICIÊNCIA</b>
DBO	80 – 85%
DQO	70 – 83%
SS	70 – 80%
Amônia	40 – 80%
Nitrogênio	40 – 70%
Fósforo	> 40%
Coliformes	3 – 6 log
Ovos de helmintos	100%

#### 3.2.3.4 Fatores que podem influenciar o desempenho de lagoas

O desempenho das lagoas de estabilização pode estar relacionado a diversos fatores, desde as condições climáticas e a própria qualidade do afluente até a configuração geométrica do sistema. Nesse sentido, diversas são as pesquisas com o intuito de avaliar o desempenho de lagoas e identificar os principais fatores intervenientes.

Os fatores climáticos estão relacionados à ação dos ventos, temperatura, radiação solar, precipitações pluviométricas e evaporação.

Os fatores químicos, de qualidade do efluente, dizem respeito à presença de compostos inibidores da atividade microbológica (metais pesados, desinfetantes etc.), geração de lodo (sólidos sedimentáveis) em quantidades que possam comprometer a qualidade do efluente, ou até mesmo condições de pH.

Finalmente, a configuração geométrica do sistema (profundidade, relação comprimento/largura, localização da entrada e saída, presença ou não de chicanas) pode influenciar no desempenho, na medida em que se tem diferentes condições de fluxo impostas à lagoa.

#### **3.2.4 Geração de lodo em lagoas de estabilização**

Denomina-se lodo o material que se deposita no fundo das lagoas de estabilização ao longo dos anos de funcionamento, sendo constituído por compostos inorgânicos, compostos

orgânicos aportados pelo esgoto, microrganismos, e subprodutos da atividade dos microrganismos (Gonçalves, 1999).

Apesar da grande aceitação das lagoas de estabilização para tratamento de esgotos no Brasil, pouca importância tem sido dada ao gerenciamento do lodo gerado nesses sistemas. Tal assertiva se comprova por enquête nacional realizada pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) em 1997, tendo sido constatado que cerca de 90% das lagoas de um total de 36 estações de tratamento de esgotos (ETEs) brasileiras nunca tinham recebido remoção do lodo (Gonçalves, 1999). Entretanto, sabe-se que existe estreita relação entre a qualidade do efluente de um sistema de lagoas e o lodo acumulado nas unidades; seja pela possível saída de sólidos provenientes do lodo sedimentado com o efluente, seja pela perda de volume útil da lagoa, com diminuição do tempo de detenção hidráulica (TDH) real e eventual implicação na eficiência do tratamento. Dentre outras hipóteses, tais considerações evidenciam a grande importância de se conhecer a dinâmica da formação de lodo em lagoas.

A taxa de acúmulo média de lodo em lagoas facultativas é da ordem de apenas 0,03 a 0,08 m<sup>3</sup>/hab.ano (ARCEIVALA, 1981 *apud* VON SPERLING, 2002). Nelson *et al.* (2004), avaliando lagoas de estabilização primárias no México, obtiveram valores médios de 0,021 a 0,036 m<sup>3</sup>/hab.ano. Gonçalves (1997), pesquisando uma lagoa facultativa primária no estado do Espírito Santo, obteve taxa de acúmulo de 0,07 L/hab.dia (0,023 m<sup>3</sup>/hab.ano), resultante da formação de camada de lodo com altura média de 26,7 cm em 18 anos de operação. O mesmo autor (1999) apresenta uma série de referências para faixas de acúmulo de lodo em lagoas anaeróbias e facultativas primárias: para as referências em volume gerado por habitante em um ano, os valores variaram de 0,029 a 0,146 m<sup>3</sup>/hab.ano.

A altura e as características da camada de lodo variam ao longo das lagoas, dependendo de sua geometria e do posicionamento das estruturas de entrada e saída (VON SPERLING, 2002). Entretanto, a maioria dos relatos sobre a distribuição espacial da camada de lodo em lagoas anaeróbias ou facultativas primárias indica acumulação maior nas proximidades dos dispositivos de entrada e saída da lagoa, sendo que nas outras regiões da lagoa, a camada geralmente apresenta-se homogênea, com a interface sólido – líquido em cotas pouco variáveis (GONÇALVES, 1999).

A altura da camada de lodo pode ser determinada através de estudo batimétrico na lagoa, que pode ser realizado mediante o uso de diferentes tipos de equipamentos. Gonçalves (1999) cita o

uso de equipamentos eletrônicos (ecobatímetros, pHmetros e medidores de teores de sólidos em suspensão) e equipamentos de medição direta, como hastes graduadas.

### **3.3 Efluentes de aeroportos**

Um complexo aeroportuário geralmente é constituído de áreas administrativas, áreas comerciais, oficinas de manutenção de equipamentos, hangares, pistas e pátios de aeronaves, terminais de passageiros, terminais de cargas, sistemas de refrigeração, armazenamento de combustíveis, geração de energia etc.

Basicamente, o efluente gerado em um aeroporto se assemelha ao de uma cidade, dada a variedade e características das atividades desenvolvidas. Os efluentes podem ser oriundos de instalações sanitárias das áreas administrativas e comerciais, instalações sanitárias das aeronaves, lavagem de equipamentos e veículos, lavagem de pátios e pistas, sistemas de ar condicionado e atividades dos hangares (pintura, manutenção etc.).

A regulamentação de segurança de vôo na maioria dos países exige que não deve haver formações de gelo sobre a aeronave quando da decolagem. Em países de clima frio, isso significa que a aeronave geralmente deve ser “*deiced*” (remoção do gelo existente) e às vezes “*anti-iced*” (para proteger contra o congelamento) (JOHNSON, 2012). Em ambos os processos, são pulverizados produtos a base de Propileno Glicol ou Etileno Glicol (PG e EG) e aditivos, que conferem ao efluente resultante grande carga orgânica, presença de fósforo (podem causar eutrofização em corpos d’água) e até mesmo toxicidade. Na média, em uma operação de degelo, são utilizados 2 a 4 m<sup>3</sup> de produto em uma aeronave comercial grande (USEPA, 1995 *apud* SWITZENBAUM, 2001). Ademais, produtos a base de ureia e acetatos são utilizados no degelo das pistas e pátios, que pode resultar em um efluente tóxico à vida aquática ou com potencial de eutrofização (nitrogênio da ureia).

Recentemente, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) introduziu regras mais estritas, que exigem que alguns aeroportos - de acordo com o porte - colem e encaminhem para uma ETE o efluente resultante do degelo. De acordo com Johnson (2012), tais medidas já ocorrem na maioria dos grandes aeroportos e em alguns esse efluente já é até mesmo reciclado (reutilizado no mesmo processo).

Já os efluentes das aeronaves podem conter constituintes químicos que o classifiquem como efluente não-doméstico (ou industrial). Tais constituintes podem ser oriundos dos produtos

(desinfetantes) que são adicionados nas instalações sanitárias, visando controle sanitário. Tal controle é necessário e constitui medida de saúde pública, dado que as aeronaves transitam por diversos locais e transportam passageiros de diversos países/regiões, onde podem ocorrer surtos ou epidemias. No momento do pouso da aeronave, um veículo específico, denominado QTU, realiza a coleta do efluente das instalações sanitárias. Ao se completar a capacidade do tanque de armazenamento do QTU, o operador procede à destinação final do mesmo. No Brasil, a INFRAERO (Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária), denomina de “cloaca” as instalações presentes nos aeroportos para recebimento desses efluentes.

São poucas as referências em literatura a respeito de efluentes de aeroportos. A maioria da literatura estrangeira trata especificamente do efluente resultante do degelo de aeronaves e pavimentos, conforme já comentado. Em não se tratando da situação acima, caracterizações feitas por Mendonça *et al.* (2008) no Aeroporto Internacional de Belém- PA (Val-de-Cans / Júlio Cezar Ribeiro) apontaram concentrações de parâmetros físicos e químicos dos efluentes semelhantes aos encontrados em esgotos domésticos, com exceção de sólidos totais e sedimentáveis, que estavam abaixo dos valores correspondentes aos típicos reportados na literatura (Tabela 3.7).

**Tabela 3.7 - Caracterização do efluente do Aeroporto Val-de-Cans (Belém-PA).**

VARIÁVEIS	UNIDADE	MÉDIA ± DP	Valores de referência para esgoto doméstico (VON SPERLING, 2005a)
pH	-	6,3 a 7,5	6,7 - 8,0
Temperatura	°C	29,1 ± 0,89	-
Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> /L	197 ± 29	100 - 250
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	518 ± 132	450 - 800
Fósforo Total	mgP/L	5,5 ± 0,7	4 - 15
Sulfato	mgSO <sub>4</sub> /L	57 ± 8	-
SSed	mL/L	4,71 ± 6,37	10 - 20
ST	mg/L	556 ± 321	700 - 1350
STF	mg/L	206 ± 89	-
STV	mg/L	350 ± 262	-

Liu *et al.* (2007) no Aeroporto de Qingdao, China, apontaram concentrações de parâmetros físicos e químicos dos efluentes inferiores aos encontrados em esgotos domésticos, com

exceção de pH e nitrogênio total (dentro da faixa) e amônia (ligeiramente acima), representados na Tabela 3.8 abaixo.

**Tabela 3.8** - Caracterização do efluente do Aeroporto de Qingdao, China.

VARIÁVEIS	UNIDADE	MÉDIA	Valores de referência para esgoto doméstico (VON SPERLING, 2005a)
pH	-	7,6	6,7 - 8,0
DBO	mg/L	102	250 - 400
DQO	mg/L	208	450 - 800
Fósforo Total	mg/L	1,7	4 - 15
Nitrogênio Total	mg/L	36,2	35 - 60
Amônia	mg/L	39	20 - 35
SS	mg/L	160	200 - 450

### **3.4 Avaliação hidrodinâmica de lagoas**

De forma geral, as pesquisas para avaliação hidrodinâmica em lagoas envolvem ajustes na configuração geométrica, mudanças na operação ou condições de funcionamento e depois tratamento do sistema como uma "caixa preta", medindo os parâmetros de qualidade na entrada e saída, de forma a avaliar eventuais mudanças no desempenho. Embora o resultados dessas pesquisas indiquem possíveis influências de uma ou outra alteração no desempenho das lagoas, elas não são conclusivas sobre o que ocorre no interior das mesmas.

Em vez de analisar os parâmetros de qualidade da água, o exame direto do real comportamento hidráulico do fluxo por si só parece ser um método potencialmente mais eficaz de atingir tal objetivo (SHILTON, 2001). O conhecimento do fluxo de escoamento é fundamental para otimização de lagoas, já que características de mistura, presença de zonas mortas, curtos-circuitos, acúmulo de lodo e velocidades do fluido são fatores determinantes da eficiência das mesmas.

O mesmo autor cita como métodos disponíveis para a experimentação direta no sistema hidráulico de lagoas de estabilização os estudos com traçadores, rastreamento com *drogues* (flutuadores com adaptações) modelagem física e modelagem matemática.

Dos métodos anteriormente citados, a grande maioria das pesquisas em lagoas utiliza a técnica estímulo-resposta com o uso de traçadores. Levenspiel (1972) apresenta um dos mais conhecidos referenciais teóricos a respeito do assunto.

Provavelmente, o primeiro estudo com traçadores em lagoas ocorreu em Logan, Utah, nos Estados Unidos, utilizando Rodamina WT (MANGELSON e WATTERS, 1972). A partir desse, vários outros estudos foram desenvolvidos, como Racault *et al.* (1984); Chapple (1985); Macdonald e Ernst (1986); Marecos do Monte e Mara (1987); Moreno (1990); Uluatam e Kurum (1992); Pedahzur *et al.* (1993); Fredrick e Lloyd (1996); Wood (1997); Salter (1999); Brissaud *et al.* (2000); Shilton *et al.* (2000); Short *et al.* (2010) e Alvarado *et al.* (2011).

Interessante destacar as pesquisas de Fredrick e Lloyd (1996), que utilizaram *serratia marcescens* como traçador na determinação do TDH e zonas de curto-circuito em uma lagoa de estabilização nas Ilhas Caimã. Esses autores observaram redução do TDH médio de 11,5 dias (teórico) para menos de dois dias. Os autores não observaram condições de estratificação térmica na lagoa e atribuíram o curto-circuito existente à atuação dos ventos.

Já Salter (1999) utilizou como traçador o fluoreto de sódio em lagoas na Inglaterra com TDH extremamente curto (cerca de 26h). Os estudos indicaram variação significativa entre ensaios com traçadores na mesma lagoa, que o autor sugeriu como ocasionado pela interferência das condições climáticas e eventos relacionados (como vento e estratificação térmica).

Moreno (1990) utilizou como traçador a água com o isótopo do hidrogênio trítio ( $^3\text{H}_2\text{O}$ ) em lagoas da Espanha. A porcentagem de volume morto nas lagoas variou de 10 a 42%.

Grande parte das pesquisas reporta o uso de Rodamina WT como traçador. Shilton (2000) utilizou Rodamina WT em uma lagoa da Nova Zelândia. Também o fez Wood (1997) em dez lagoas da Austrália. Mais recentemente, Alvarado *et al.* (2011) utilizaram o mesmo traçador em lagoa de estabilização em Cuenca – Equador (TDH de 12 dias) e Short *et al.* (2010) em lagoas em escala piloto utilizadas no polimento do efluente de uma lagoa em escala real.

Praticamente todos os pesquisadores que utilizaram traçador no estudo da hidrodinâmica de lagoas observaram a existência de curto-circuito hidráulico. Nesse sentido, Shilton (2001)

sugere que este comportamento é, na verdade, uma característica inerente a todos os sistemas de lagoa.

Os *drogues* são objetos flutuantes dispostos em corpos aquáticos para medição e determinação da velocidade e do padrão do fluxo. Vários são os registros do uso de *drogues* em pesquisas envolvendo corpos d'água de grandes dimensões, como em estudos de correntes oceânicas. Ademais, também não se trata de algo novo. Como exemplo, foram encontrados registros de utilização em estudos de oceanografia na década de 80, utilizando flutuadores com bandeiras e luz para noite, de forma a facilitar a visualização do *drogue* e demarcação do percurso. Para registro e demarcação do percurso, os *drogues* eram acompanhados pela equipe em um barco (JOSANTO e SARMA, 1985).

Em lagoa de estabilização, Mangelson (1971) utilizou *drogues* para realizar uma observação geral das correntes de fluxo, constatando que os mesmos não se moviam diretamente para a saída. Mangelson sugeriu que a posição da tubulação de entrada era o principal condicionador do padrão de fluxo observado na lagoa.

Fredrick e Lloyd (1996) utilizaram 100 laranjas como *drogues*, introduzidas na tubulação de entrada de uma lagoa facultativa, de forma a visualizar o padrão de fluxo. Assim como no trabalho de Mangelson, não houve qualquer tipo de quantificação nos ensaios.

Aparentemente, o primeiro monitoramento quantitativo com *drogues* em lagoa de estabilização foi realizado por Shilton e Kerr (1999). Os autores rastream os *drogues* utilizando teodolitos, registrando a posição dos mesmos. Uma série de leituras ao longo do tempo possibilitou a obtenção de vetores de velocidade do fluxo. Os *drogues* foram montados com um flutuador preenchido com água (de forma a minimizar a área exposta à ação dos ventos), conectado a placas de PVC de 20 cm x 20 cm em forma de cruz, que servia de 'vela'.

Shilton e Bailey (2006) utilizaram *drogues* em lagoa de escala reduzida (protótipo de dimensões de 2,715m x 1,750m x 125mm). Os *drogues* eram tubos preenchidos com água com as partes visíveis pintadas de preto. A lagoa era filmada e um sistema de computadores conectados à câmera registrava o trajeto dos *drogues*.

Em lagoa facultativa na cidade de Natal – RN, Meneses (2006) realizou ensaios com um corante utilizado como traçador e com cocos e laranjas verdes utilizados como *drogues*.

No geral, os estudos apontaram a técnica de rastreamento *drogues* como uma boa auxiliar nos estudos da hidrodinâmica de lagoas, servindo de complemento aos tradicionais ensaios com traçadores.

Além do uso de traçadores, corantes e *drogues*, para investigação e inferência do comportamento hidrodinâmico de lagoas, vários autores citam a Fluidodinâmica Computacional (CFD) como ferramenta promissora no conhecimento mais detalhado do fluxo no interior das lagoas. Como exemplo recente, Daigger (2011) faz uma discussão sobre as perspectivas de usos e desenvolvimentos futuros da modelagem de tratamento de águas residuárias, relata a grande lacuna existente na área e a necessidade de maior atenção a ferramentas disponíveis, como CFD.

O item seguinte trata exclusivamente sobre o tema e sua aplicação em lagoas.

### **3.5 Fluidodinâmica Computacional (CFD)**

#### **3.5.1 Definição, histórico e aplicações**

A Fluidodinâmica Computacional (CFD – *Computational Fluid Dynamics*) é uma ferramenta computacional empregada para prever ou analisar fenômenos físicos ou físico-químicos que ocorrem em escoamentos de fluidos dentro de um volume pré-definido, ou fora dele, e que podem ser relacionados com a ação e a interação de fatores como dissipação, difusão, convecção, interações com superfícies, condições de contorno e turbulência.

Programas de simulação em CFD começaram a aparecer no início dos anos de 1980, com o desenvolvimento dos estudos de algoritmos matemáticos complexos, e exigiam poderosos computadores, bem como conhecimento profundo da dinâmica dos fluidos e grandes quantidades de tempo para criar simulações. Conseqüentemente, CFD permaneceu por algum tempo uma ferramenta utilizada quase exclusivamente em pesquisas.

Os recentes avanços no poder de computação, juntamente com gráficos poderosos e interfaces 3D interativas, resultaram na criação de modelos de CFD que permitem análises de resultados com muito menos trabalho, reduzindo o tempo e, portanto, os custos envolvidos. Atualmente, modelos avançados contêm algoritmos que permitem soluções robustas de escoamento de fluidos em tempo razoável.

A partir do século XXI, a CFD se expandiu amplamente no setor comercial, em particular devido a (SHILTON, 2001):

- crescimento acelerado da potência dos computadores;
- desenvolvimento de pacotes de CFD disponíveis comercialmente, desenvolvidos para aplicação flexível em qualquer problema de fluxo;
- aumento da disponibilidade de interfaces amigáveis de CFD para definição do problema e visualização da solução.

Existem vários problemas de mecânica dos fluidos nos quais CFD pode ser aplicada. Os temas mais pesquisados estão na área da Engenharia Aeronáutica (aerodinâmica de aviões, turbinas, asas etc.), Engenharia Mecânica (sistemas automotivos, motores, fluidos lubrificantes etc.), Engenharia Química (reatores, transferências de calor e massa, geração de energia etc.) e Engenharia Ambiental (dispersão de poluentes em solos, na atmosfera e em corpos d'água, hidráulica etc.). Apesar da maioria dos estudos e aplicações se concentrar nessas áreas, existe aplicações na medicina (fluxo do sangue nos vasos sanguíneos) e até mesmo nos esportes (aerodinâmica em veículos de corrida, natação, ciclismo).

A Fluidodinâmica Computacional é hoje uma ferramenta consistente, ajudando a reduzir as escalas de tempo dos projetos e melhorar os processos de engenharia e ciências correlatas de todo o mundo.

### **3.5.2 Matemática do CFD**

Basicamente, as etapas da modelagem em CFD envolvem: construção de uma geometria que represente o problema; desenvolvimento de uma malha de cálculo em todo o domínio da geometria; definição de condições de contorno, modelos de cálculos e equações de interesse; processamento, visualização e análise. O método consiste na resolução das equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento por meio de um processo numérico em cada elemento de malha. Posteriormente, os resultados podem ser analisados numericamente e visualmente, por meio de gráficos, figuras, animações etc. e comparados com dados experimentais para calibração e validação.

As equações que descrevem os processos de momentum, calor e transferência de massa são conhecidas como as equações de Navier-Stokes. Estas equações diferenciais parciais foram obtidas no início do século XIX e não têm solução geral analítica, mas podem ser discretizadas e resolvidas numericamente.

Equações que descrevem outros processos, tais como combustão, também podem ser resolvidas em conjunto com as equações de Navier-Stokes. Muitas vezes, um modelo de aproximação é usado para derivar essas equações adicionais, sendo modelos de turbulência um exemplo particularmente importante.

Há uma série de métodos de solução diferentes, que são usados em códigos CFD. O mais comum é conhecido como a técnica de volumes finitos. Nesta técnica, a região de interesse é dividida em pequenas sub-regiões, chamadas volumes de controle. As equações são discretizadas e resolvidas iterativamente para cada volume de controle. Como resultado, uma aproximação do valor de cada variável em pontos específicos ao longo do domínio pode ser obtida. Desta forma, torna-se possível uma visão completa do comportamento do fluxo.

### **3.5.3 Aplicação de CFD em lagoas de estabilização**

De fato, os principais mecanismos de remoção de poluentes em uma lagoa de estabilização são de natureza biológica, onde os próprios microrganismos presentes naturalmente no esgoto degradam a matéria orgânica e atuam no tratamento do efluente. Entretanto, apesar de o tratamento ser essencialmente biológico, a remoção ocorre associada a parâmetros físicos e maior eficiência pode ser conseguida com ajuste desses parâmetros, como a configuração geométrica da lagoa e o tempo de detenção hidráulica.

Mesmo que bastante discutido e consolidado na literatura, o comportamento hidráulico das lagoas de estabilização geralmente é descrito de forma simplificada, tanto nos projetos como nas avaliações de desempenho, já que o equacionamento de todas as variáveis e relações envolvidas no escoamento do fluido é complexo e muitas vezes inviável do ponto de vista de tempo e esforço. Além disso, o sistema hidráulico é geralmente descrito como se fosse uma “caixa preta”, sem análises de fluxo no interior das lagoas (SHILTON, 2001). Nesse sentido, a CFD apresenta-se como uma ferramenta de grande potencial de ser aplicada na modelagem desses fenômenos, predizendo o comportamento do fluido (no caso, o esgoto) em lagoas de

estabilização e possibilitando diversos tipos de análises, com grande precisão e sem necessidade de grandes esforços experimentais.

Nesse mesmo viés, a seguinte recomendação, de Finney e Middlebrooks (1980), é apresentada: “O tempo de detenção hidráulica é usado em muitos dos métodos de projeto e pesquisa, mas muito pouco tem sido feito para determinar fatores que influenciam o tempo de detenção hidráulica real. Uma previsão consistente do desempenho de uma lagoa, por qualquer método, sem projeções precisas de tempo de detenção hidráulica é impossível. Recomenda-se que pesquisas futuras sobre desempenho de lagoas considere o efeito das condições físicas e climáticas no tempo de residência hidráulica”. Também Shilton (2001) afirma que “um modelo de lagoas permitiria engenheiros investigar uma gama de diferentes configurações das lagoas e assim otimizar a configuração hidráulica para se obter a melhor eficiência possível; o que certamente representa um maior avanço comparado à corrente abordagem de ‘caixa preta’ ”.

A CFD tem potencial para modelar o sistema hidráulico de uma ampla gama de processos de tratamento de águas residuárias. O *output* (saída dos resultados) das simulações em CFD dá ao projetante ou pesquisador um 'olhar interno' para realmente ver como os fluidos se misturam e se movem através do sistema. Conforme mencionado, isto contrasta com simplificações da "caixa preta" da maioria das abordagens tradicionais. Além de investigar o sistema hidráulico do fluxo, a simulação em CFD pode também incorporar a modelagem das reações que ocorrem dentro do próprio fluido. No entanto, para utilização segura em projetos, mais pesquisas sobre a validação de modelos de CFD com os dados experimentais são necessárias (SHILTON *et al.*, 1999).

São listados a seguir alguns estudos de lagoas envolvendo CFD:

- Baléo *et. al.* (2001) utilizaram CFD para obtenção do TDH real de uma lagoa em escala piloto. O modelo foi validado por meio de ensaios com traçadores, obtendo bons resultados.
- Abbas *et. al.* (2006) modelaram, via CFD, diferentes configurações geométricas e de chicaneamento de uma lagoa de estabilização a fim de verificar a configuração ótima em termos de eficiência e qualidade do efluente. Estudo semelhante foi realizado por Persson (2000), que testou 13 configurações hipotéticas de uma lagoa, visando obter a influência na performance hidráulica.

- Vega *et. al.* (2003) aplicaram CFD para estudo hidrodinâmico de várias configurações de uma lagoa anaeróbia na Colômbia. O modelo, validado por meio de comparação com dados experimentais de TDH, apresentou boa aderência.
  
- Shilton e Mara (2005) modelaram, em CFD, o chicaneamento de um sistema composto de lagoa facultativa e de maturação, concluindo sobre a melhora de desempenho do sistema com a provisão das chicanas.
  
- Wood *et. al.* (1998) utilizaram CFD para construção de um modelo bidimensional para três diferentes configurações de entrada e saída do efluente em uma lagoa. Os autores compararam os valores de TDH obtidos com o modelo com valores reais de literatura, para as mesmas configurações. Concluíram sobre a boa aplicabilidade da ferramenta para modelos de lagoas, mas não recomendando o uso *a priori* de modelos bidimensionais para descrição da hidrodinâmica de lagoas de estabilização.
  
- Banda *et. al.* (2006a) utilizaram um modelo tridimensional em CFD para avaliar a eficácia do tratamento (em termos de remoção de *E. coli*) de uma lagoa de estabilização facultativa, principalmente no que diz respeito à influência da velocidade e direção do vento. O trabalho concluiu que a melhor locação da lagoa, em termos de remoção de *E. coli*, é quando a direção do fluxo é contrária à dos ventos predominantes, já que diminuía as chances de curtos-circuitos.
  
- Os mesmos autores (2006b), também através de um modelo tridimensional de uma lagoa facultativa com chicanas, compararam resultados da simulação com uma lagoa experimental em escala piloto. Concluíram que o modelo em CFD é satisfatório na predição da remoção de *E. coli* em lagoas facultativas com chicanas
  
- Olukanni e Ducoste (2011) realizaram estudo em CFD para seleção da melhor configuração de lagoas. O modelo era acoplado com um programa de otimização de custos para escolha da melhor configuração com menor custo, sem comprometer a eficiência do tratamento. Os resultados do monitoramento da concentração de coliformes termotolerantes na saída do reator mostraram que o projeto convencional de lagoas com defletor a 70% da largura não é necessariamente a melhor configuração de lagoas, como relatado anteriormente na literatura.

- Alvarado *et. al.* (2012) utilizaram um modelo de CFD tridimensional, concebido de forma “compartimentada”, com a divisão do volume da lagoa em células menores de mistura completa, para descrever o sistema hidráulico de uma lagoa de maturação em escala plena (7 ha). O modelo compartimentado foi derivado do modelo 3D não compartimentado, que estava já validado por meio de ensaios com traçadores.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Descrição geral da estação de tratamento

A ETE que atende o Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN), em Confins – MG (ETE Confins) realiza o tratamento dos efluentes de todo o complexo aeroportuário a nível secundário. O corpo receptor do efluente da ETE é o Córrego Olhos d'água (classe 1), afluente do Córrego do Jaque, que é tributário do Rio das Velhas.

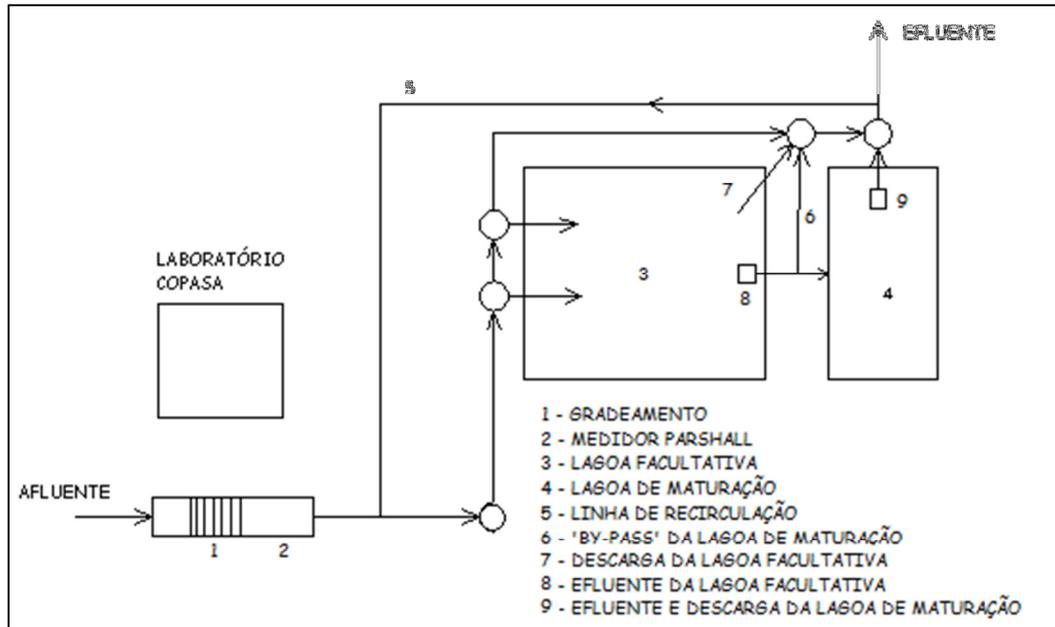
Além do efluente oriundo do terminal de passageiros, terminal de cargas e dependências administrativas (proveniente das instalações sanitárias e cozinhas), a ETE recebe contribuições pontuais de esgotos com possíveis características industriais. Uma delas diz respeito ao efluente da cloaca (sanitários das aeronaves) e outra do hangar de manutenção da GOL linhas aéreas, onde ocorrem atividades de manutenção/pintura/reparo de aeronaves. Importante ressaltar que o hangar da GOL conta com uma ETEI (Estação de Tratamento de Efluentes Industriais; composta por separador de água e óleo, unidades de coagulação, mistura e desidratação do lodo) para pré-tratamento do efluente, antes do lançamento na rede coletora.

A ETE do AITN é composta de tratamento preliminar (grade manual), medição de vazão (calha *Parshall*) e um sistema de lagoas, composto de uma lagoa de estabilização facultativa seguida de uma lagoa de maturação (Figura 4.1). A ETE não possui desarenadores. O Fluxograma do sistema é apresentado na Figura 4.2.



**Figura 4.1** - ETE do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins-MG.

Fonte: (a) Google Earth, 2010 e (b) Arquivo INFRAERO.



**Figura 4.2** - Fluxograma da ETE do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins-MG.

A grade manual (Figura 4.3), com a finalidade de remoção de sólidos grosseiros, tem as seguintes dimensões (Tabela 4.1):

**Tabela 4.1** - Principais dimensões da grade.

<b>GRADE</b>	
Tipo	Manual
Inclinação	45°
Barras (espessura x largura)	1/2" x 2"
Espaçamento	25 mm
Comprimento total	1,4 m
Largura total	0,60m
Borda livre acima do NA máximo	0,50 m



**Figura 4.3** - Gradeamento manual - ETE do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins-MG.

A medição de vazão é realizada de modo contínuo, *on line*, por meio de leitor óptico instalado a montante da garganta da calha *Parshall* e contíguo ao mesmo. A dimensão da garganta é de 6” (15,2 cm), capaz de medir vazões de até 150 L/s (Figura 4.4). O material removido na grade é disposto em aterro sanitário.



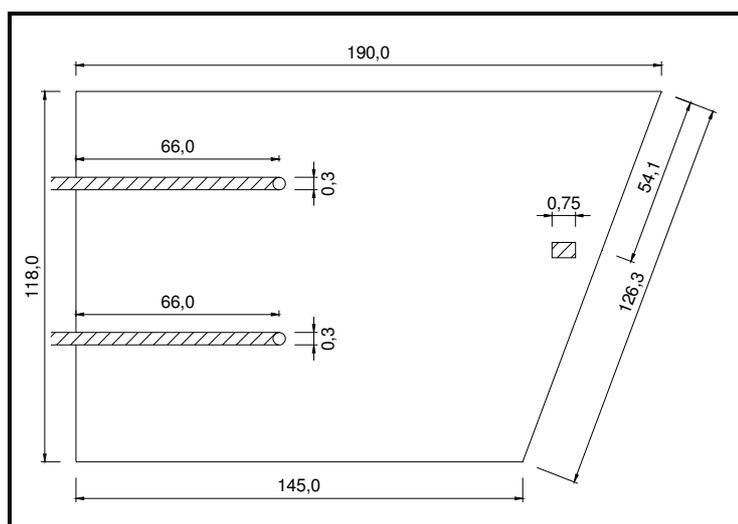
**Figura 4.4** – Vista da calha *Parshall*. ETE do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins - MG.

A lagoa facultativa apresenta como principais dimensões/características (Tabela 4.2):

**Tabela 4.2 - Principais dimensões/características da lagoa facultativa.**

<b>LAGOA FACULTATIVA</b>	
Formato: Trapezoidal	Arestas de 118m, 190m, 126m e 145m
Relação Comprimento/Largura ( L/B)	~ 1,4
Espelho D'água	1,99 ha
Fundo	1,89 ha
Taludes internos	1 : 2,5
Volume máximo da lagoa	55000 m <sup>3</sup>
Profundidade (mínima - máxima) de operação	1,90 – 2,90 m
Profundidade de operação atual	2,90 m
Borda livre acima do NA máximo	0,50 m

A Figura 4.5 representa as dimensões básicas da lagoa facultativa, em planta, incluindo os dispositivos de entrada e saída do esgoto.



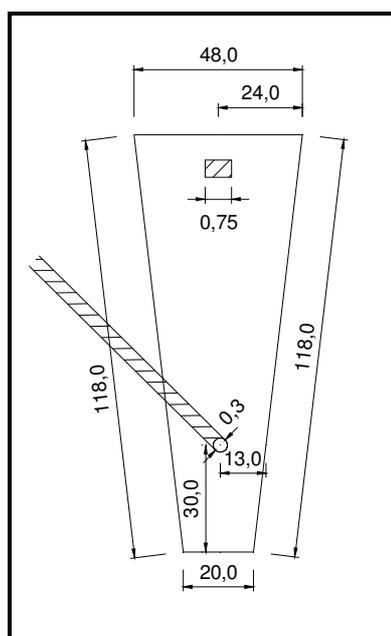
**Figura 4.5 - Desenho esquemático da lagoa facultativa da ETE Confins, com dimensões em planta.**

A lagoa de maturação apresenta como principais dimensões/características (Tabela 4.3):

**Tabela 4.3** - Principais dimensões/características da lagoa de maturação.

<b>LAGOA DE MATURAÇÃO</b>	
Formato: Trapezoidal	Arestas de 118m, 118m, 48m e 20m
Relação Comprimento/Largura ( L/B)	~ 3,5
Espelho D'água	0,47 ha
Fundo	0,36 ha
Taludes internos	1 : 2,5
Volume máximo da lagoa	5105 m <sup>3</sup>
Profundidade (mínima - máxima) de operação	0,65 – 1,25 m
Profundidade de operação atual	1,20 m
Borda livre acima do NA máximo	0,50 m

A Figura 4.6 representa as dimensões básicas da lagoa de maturação, em planta, incluindo os dispositivos de entrada e saída do esgoto.



**Figura 4.6** - Desenho esquemático da lagoa de maturação da ETE Confins, com dimensões em planta.

Tanto na lagoa facultativa quanto na lagoa de maturação as tubulações possuem curvas de 90°, submersas, direcionando “para baixo” o fluxo de entrada nas duas lagoas.

## **4.2 Avaliação de desempenho**

Na tentativa de obter um diagnóstico geral do funcionamento do sistema, foi feita a avaliação de desempenho da ETE levando em conta análises de dados de monitoramento; levantamento

batimétrico e avaliação hidrodinâmica, por meio de ensaios de campo e modelagem computacional em CFD.

#### **4.2.1 Dados de monitoramento**

##### **4.2.1.1 Monitoramento da ETE**

A análise estatística de dados de monitoramento de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos nas lagoas, de 1994 a 2010, permitiu a avaliação de desempenho da ETE no que concerne a essas variáveis. Foram também analisados dados qualitativos de fitoplâncton. Os dados foram fornecidos pela COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais), empresa que opera o sistema.

Foram analisados dados de três pontos de coleta: esgoto bruto (afluente), saída da lagoa facultativa e saída da lagoa de maturação (efluente do sistema). A programação do monitoramento realizado pela COPASA variou ao longo dos anos (parâmetros monitorados, frequência), mas, de forma geral, compreendeu coletas semanais para temperatura do ar e do esgoto, pH e oxigênio dissolvido (amostragem simples) e coletas mensais ou quinzenais para os demais parâmetros, como DBO, DQO, ST, SST, SSF, SSV, sólidos sedimentáveis, *E. coli*, cloreto, nitrogênio total e amoniacal, fósforo total, óleos e graxas, detergentes, alcalinidade, (amostragem composta), fitoplâncton; em um total de, aproximadamente, 9000 dados. A medição de vazão é sempre feita de forma contínua, *on line*, sendo os registros mensais apresentados como médias dos valores médios de cada semana. Os relatórios de monitoramento contêm ainda registros de problemas operacionais ocorridos durante o período de análise.

Observações relevantes:

- No período de janeiro de 1994 a julho de 2002 foram coletadas amostras da lagoa facultativa e da lagoa de maturação. Em agosto de 2002 a lagoa de maturação secou, pois não havia efluente vertendo da lagoa facultativa. Portanto, de agosto de 2002 até Junho de 2006, somente a lagoa facultativa foi monitorada (afluente e extremidade oposta).
- No período de julho de 2006 a dezembro de 2010 foram realizadas coletas somente no esgoto bruto e na saída da lagoa de maturação; portanto, entrada e saída do sistema (o efluente da lagoa facultativa não foi monitorado).

- O sistema não foi monitorado de março de 2003 a fevereiro de 2004. As planilhas de monitoramento para esse período só contém registros da vazão e medições de temperatura, pH e sólidos sedimentáveis no afluente.

#### 4.2.1.2 Efluente das aeronaves

Conforme já comentado, as instalações presentes nos aeroportos para recebimento dos efluentes sanitários das aeronaves são chamadas de “cloaca”. No AITN, a cloaca (Figura 4.7) está ligada na rede coletora de esgotos do aeroporto, portanto, o efluente é direcionado a ETE.



**Figura 4.7** – Vista da Cloaca (instalação presente nos aeroportos para recebimento dos efluentes sanitários das aeronaves) – Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins - MG.

O aeroporto não conta com medidor de vazão ou qualquer tipo de controle do volume de efluente lançado na cloaca. Entretanto, todas as vezes que algum equipamento de QTU (Figura 4.8) acessa a área da cloaca, o operador preenche uma ficha com a identificação do veículo e a hora em que fez o despejo.



**Figura 4.8** - Operação de descarga do QTU (equipamento de coleta e transporte dos efluentes das aeronaves) na cloaca – Aeroporto Internacional Tancredo Neves – Confins - MG.

Tomando por base essa premissa, e levando em consideração que o despejo do efluente só ocorre quando se atinge a capacidade do QTU, a estimativa do volume de efluente, neste trabalho, foi realizada multiplicando o somatório de acessos à cloaca em um determinado período pela capacidade do QTU.

A influência do efluente sanitário das aeronaves no desempenho das lagoas foi verificada por meio da comparação entre volumes mensais de lançamento na cloaca com parâmetros de monitoramento da ETE, principalmente aqueles relacionados à biodegradabilidade do esgoto e eficiência do sistema (relação DBO/DQO, eficiência de remoção).

Ademais, foi feita a caracterização física e química desse efluente, em uma campanha de amostragem composta, ao longo de um dia, incluindo as variáveis DBO; DQO; SST; SSV; SSF; óleos e graxas; fenóis; nitrogênio total; nitrogênio amoniacal; nitrato; fósforo total; pH; temperatura; detergente/surfactantes.

#### 4.2.1.3 Efluente do hangar da GOL linhas aéreas

O hangar da GOL conta com uma estação de tratamento de efluentes industriais, que realiza o tratamento de todos os efluentes das atividades de manutenção, reparo e pintura de aeronaves. O tratamento é físico-químico, realizado com uso de caixas separadoras de água e óleo, tanques de mistura e armazenamento, coagulantes e unidades de desidratação do lodo.

Os dados do monitoramento da ETEI da GOL foram obtidos por meio de acesso ao processo de licenciamento do hangar, cujas informações são de domínio público, e correspondem ao período de 2006 a 2010.

De forma a se ter uma informação adicional sobre a qualidade do efluente que chega à ETE do AITN quando da discussão dos resultados de monitoramento da mesma, as planilhas de monitoramento da ETEI da GOL foram anexadas ao presente estudo (Anexo II).

#### 4.2.1.4 Dados climáticos

Será apresentada uma breve caracterização das condições climáticas e meteorológicas no local de estudo por meio de dados mensais compreendendo o período de 1991 a 2010 para as variáveis temperatura do ar (máxima, mínima e média), precipitação, umidade relativa, nebulosidade e ventos predominantes. Os dados foram obtidos junto à torre de controle do

aeroporto (Comando da Aeronáutica – Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Vôo – Divisão de Meteorologia Aeronáutica – Sumário Climatológico Mensal).

Tais dados fazem parte de um monitoramento contínuo realizado nas imediações da plataforma aeroportuária, portanto, não são medições realizadas na própria ETE. Entretanto, sabe-se que os dados de precipitação e nebulosidade podem perfeitamente ser considerados como representativos das condições na área da ETE.

Dados de temperatura do ar e ventos foram necessários na discussão de itens específicos da pesquisa. Neste caso, os dados utilizados foram os obtidos em campo, na própria ETE.

#### 4.2.1.5 Tratamento dos dados

Foi dada ênfase aos métodos de estatística descritiva, que tem por objetivo resumir ou descrever as características importantes de um conjunto conhecido de dados. A análise ocorreu por meio de gráficos de dispersão, cálculos das medidas de tendência central, cálculo das medidas de dispersão (variação), *box-plot*, apresentação visual da natureza da distribuição dos dados (histogramas), séries temporais, análise de possíveis correlações; tanto para os parâmetros isoladamente quanto para a relação entre eles, cargas aplicadas, TDH, coeficientes de degradação e matéria orgânica e decaimento bacteriano ( $K$  e  $K_b$ ), entre outros parâmetros de análise de desempenho.

De forma geral, em cada item serão apresentadas tabelas contendo os resultados da análise estatística, figuras com séries históricas, correlações e gráficos *box-plot*. Os últimos foram utilizados como método de análise exploratória, visando simplificar a descrição dos dados e facilitar a visualização dos mesmos, sendo apresentados com os quartis, valores máximo e mínimo e sem os *outliers*.

#### **4.2.2 Levantamento batimétrico**

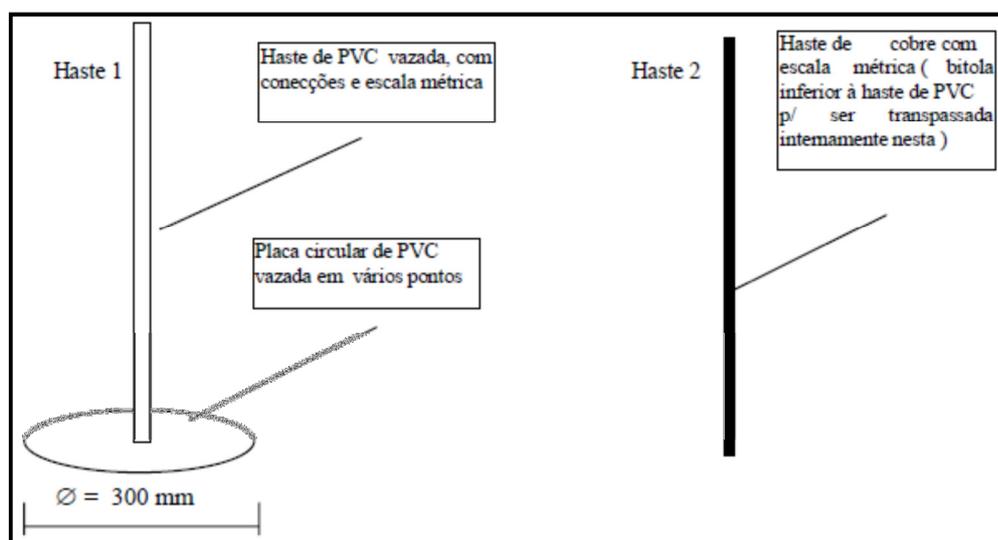
Na tentativa de avaliar a acumulação e distribuição espacial de lodo no sistema de lagoas, foi realizado o levantamento batimétrico das mesmas.

Foram definidos pontos homogeneamente distribuídos nas lagoas para medição do nível do lodo, abrangendo transectos paralelos que cobriram de maneira uniforme a superfície d'água em ambas as lagoas. Foi definido um total de 109 pontos de medição, sendo 72 pontos para a

lagoa facultativa e 37 para a lagoa de maturação. As seções foram demarcadas e percorridas com um barco para realização das medições.

Uma maior intensidade de pontos foi coletada em campo nos locais onde se observava maior variação espacial da profundidade da camada de lodo. Tal procedimento interfere positivamente na qualidade do levantamento batimétrico realizado, sobretudo pelo fato do método de interpolação escolhido trabalhar com dados distribuídos regular ou irregularmente (WATSON, 1992).

As medições foram realizadas utilizando um dispositivo composto por hastes de PVC conectáveis, com escalas métricas, em uma base em forma de disco vazado (GONÇALVES *et al.*, 1997). O esquema é apresentado na Figura 4.9 e o equipamento montado como parte desta pesquisa está apresentado na Figura 4.10.



**Figura 4.9** - Esquema representativo do equipamento para determinação da altura da camada de lodo (GONÇALVES *et al.*, 1997).



**Figura 4.10** - Equipamento montado, como parte desta pesquisa, para a medição da altura de lodo das lagoas da ETE Confins.

A primeira haste (externa) foi utilizada para determinar a profundidade da interface sólido-líquido, onde a mesma assenta-se sem penetrar a camada de lodo, devido à existência da placa circular de acrílico em sua base. A partir da determinação da profundidade da camada líquida, foi introduzida a segunda haste pelo interior da primeira, com o intuito de trespassar a camada de lodo, detendo-se ao alcançar o fundo da lagoa. A diferença entre as medições realizadas com as duas hastes graduadas forneceu a espessura da camada de lodo.

Para a coleta dos pontos previamente definidos utilizou-se um GPS de navegação, modelo Garmin 76, sendo que para cada valor de profundidade e camada de lodo registrado, obtinha-se também sua localização georreferenciada em coordenadas no formato UTM – Universal Transversa de Mercator. Os registros das profundidades aferidas foram posteriormente dispostos em uma planilha eletrônica (MS Excel 2010), mantendo-se as coordenadas.

Os mapas batimétricos foram elaborados com o *software* ArcGIS 9.3 ® (ESRI Inc.), elencando-se como interpolador espacial a ferramenta *Natural Neighbor*, cujos princípios de atuação possuem ligação com o método estatístico de interpolação de dados conhecido como *Polígono de Thyessen*.

Segundo Watson (1992), a interpolação por vizinhos naturais (*Natural Neighbor*) vale-se da triangulação de *Delaunay* e o diagrama de *Voronoi* ou *Thyessen* para descobrir uma vizinhança mais adequada para se determinar a profundidade de um dado ponto.

A ferramenta de interpolação utilizada permite uma análise geoestatística tridimensional, que utiliza apenas um subconjunto de amostras circunvizinhas para um determinado ponto a ser obtido. As profundidades interpoladas, obrigatoriamente, estão dentro do intervalo verificado nas amostras utilizadas, frisando-se que o método não infere tendências nem tampouco produz picos ou outras singularidades que não estejam representadas nos dados de entrada.

Um aspecto relevante a ser considerado é o esquema de pesos utilizado. Inicialmente, o software utilizado cria *Polígono de Thyessen* com todos os pontos da amostra. Em seguida um novo polígono é criado em torno do ponto interpolado, sendo que a proporção de sobreposição entre este novo polígono e os polígonos iniciais são então usadas como pesos, contribuindo com a suavização das formas da superfície gerada.

Ainda com o auxílio do *software* ArcGIS 9.3 ® (ESRI Inc.), foram determinados o volume útil e volume da camada de lodo das lagoas facultativa e de maturação.

### **4.2.3 Avaliação hidrodinâmica – Ensaios de campo**

#### **4.2.3.1 Velocidade e direção dos ventos**

Como os dados de direção e velocidade média dos ventos predominantes, obtidos junto a torre de controle do AITN, se referiam apenas à área de pistas do aeroporto, e dada a importância específica dos ventos para avaliação hidrodinâmica e de acumulação do lodo, foram realizadas medições na própria ETE, a fim de se ter dados mais representativos das condições no local.

Utilizou-se, para isso, o anemômetro digital portátil INSTRUTHERM TAD-500®. Várias medições foram realizadas ao longo de dois dias, em diversos pontos na borda das lagoas e dentro das próprias lagoas com um barco. Medições também foram realizadas durante os ensaios com corante e *drogues* (Figura 4.11). Os dados de velocidade e direção do vento foram comparados com os resultados dos ensaios e com os mapas obtidos de acúmulo de lodo nas lagoas (batimetria). Além disso, as informações de velocidade média e direção predominante foram inseridas como condição de contorno do modelo hidrodinâmico (em CFD).



**Figura 4.11** - Medição de velocidade e direção predominante do vento nas lagoas da ETE Confins durante os ensaios com corantes e drogas.

#### 4.2.3.2 Ensaio com corante

Na tentativa de avaliar previamente o comportamento hidrodinâmico das lagoas, foi realizado ensaio de campo com corante, visto não se ter recursos disponíveis, nem infraestrutura local adequada, para realização de ensaios com traçadores mais indicados, como a Rodamina WT. Tais iriam demandar ensaios com duração de vários meses, uma vez que há uma recomendação genérica de que os testes com traçadores tenham uma duração mínima de cerca de três vezes o tempo de detenção hidráulica teórico.

Visto que não foi possível utilizar métodos de quantificação, a avaliação foi apenas por meio da visualização do escoamento, que seria evidenciado pelo corante.

Para a escolha do corante a ser utilizado, foi realizada pesquisa sobre aqueles possíveis de serem utilizados no ambiente aquático. Meneses (2006) cita o uso do corante alimentício Vermelho Bordeaux, ou Amarantho, mais conhecido como Amaranth ou Edicol Amaranth. Segundo o autor, o Amarantho possui ótima solubilidade, não interfere na vida aquática da lagoa e é facilmente degradado pelos microrganismos. O autor também relata boa detecção e visualização do mesmo quando disperso na lagoa.

Quando comparado aos traçadores e até aos demais corantes, o Amarantho possuía o custo mais acessível, de cerca de R\$ 70,00/kg. Com os recursos disponíveis, foram comprados 25 kg do corante para serem utilizados nos ensaios de campo.

Meneses (2006) realizou ensaios de laboratório para definir a concentração mínima de detecção do Amaranth em uma lagoa (C), chegando ao valor de 1,25 mg/L (ou 1,25 g/m<sup>3</sup>). Partindo dessa premissa, considerou-se que a massa total (M) de corante para realização do ensaio em todo o volume das lagoas (V<sub>T</sub>) seria de (Equação 4.1):

$$M = V_T \times C \quad (4.1)$$

Sendo V<sub>T</sub> = 55.000 m<sup>3</sup> + 5.105 m<sup>3</sup> = 60.105m<sup>3</sup>, tem-se que:

$$M = 60.105 \text{ m}^3 \times 1,25 \text{ g/m}^3 \approx 75 \text{ kg}$$

Portanto, seria necessário um total de 75 kg de corante para realização do ensaio em todo o volume das duas lagoas. Como dito, foi possível apenas a aquisição de 25 kg do corante, que não seria suficiente. Sendo assim, dividiu-se a quantidade entre as duas lagoas: 22 kg para a lagoa facultativa e 3 kg para a lagoa de maturação. Como se tratava apenas de verificação visual, presumiu-se que a quantidade inferior não comprometeria a finalidade do ensaio.

Meneses (2006) realizou a sua pesquisa com o corante diluído na concentração de 200 mg/L. Utilizou-se, na presente pesquisa, esse referencial para concentração mínima a ser mantida. O corante (em pó) foi misturado com água em uma bombona de 200 L (Figura 4.12).



**Figura 4.12** - Preparação da solução do corante Amaranth para realização de ensaio nas lagoas da ETE Confins.

A solução foi injetada de forma instantânea - caracterizando um sinal do tipo pulso - na calha *Parshall* do tratamento preliminar e no PV de entrada para a lagoa de maturação. Também

foram lançadas superficialmente quantidades de corante nas laterais das lagoas e próximo às entradas e saídas das lagoas (Figura 4.13):



**Figura 4.13** - Lançamento do corante na calha *Parshall* da ETE Confins, durante os ensaios de campo.

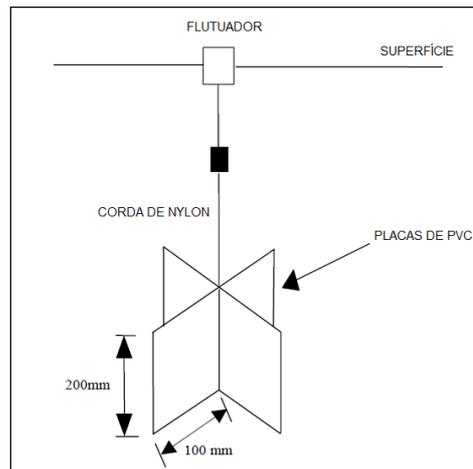
A dispersão do corante foi registrada por meio de fotografias. Os resultados foram comparados com o modelo obtido em CFD.

#### 4.2.3.3 Ensaio com *drogues*

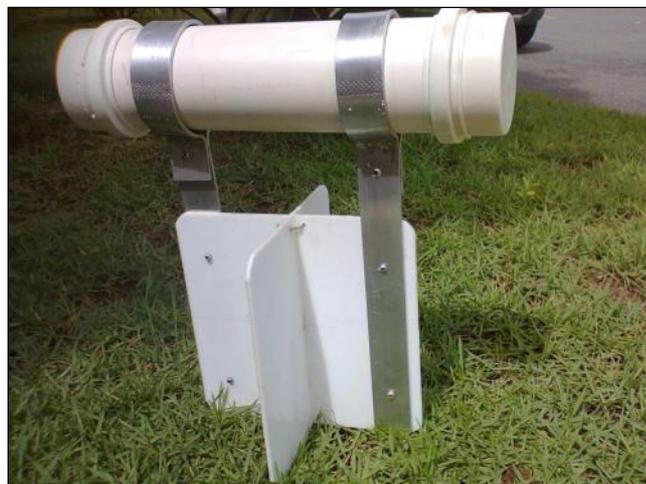
Foram utilizados como *drogues* laranjas e um equipamento montado especialmente para tal fim.

As laranjas foram lançadas próximo às entradas das lagoas e, por serem mais propensas ao arrastamento pelo vento, foram utilizadas principalmente para observar a influência do mesmo na superfície. Concomitantemente ao lançamento, eram registradas a direção predominante e a velocidade do vento.

O *drogue* montado como parte da presente pesquisa foi baseado no esquema apresentado por Shilton (2001), que demonstra a presença de um flutuador conectado a uma “vela” invertida, utilizado pela primeira vez em pesquisa anterior (SHILTON e KERR, 1999). No trabalho desses pesquisadores, o fluxo impulsionava a “vela” submergida e o trajeto do *drogue* era obtido por meio de teodolitos posicionados nas laterais da lagoa, que eram capazes de visualizar e registrar os movimentos do flutuador. O esquema do *drogue* utilizado por Shilton está apresentado na Figura 4.14 e o equipamento montado na presente pesquisa na Figura 4.15.



**Figura 4.14 - Drogue experimental (SHILTON, 2001).**



**Figura 4.15 – Protótipo do drogue montado como parte desta pesquisa para registro do fluxo nas lagoas.**

O drogue apresentado na Figura 4.15 conta com uma “cápsula” de PVC conectada por meio de dois braceletes de alumínio a placas de acrílico de 200 x 200mm. A cápsula funcionou como um flutuador e no seu interior foi embutido um GPS de navegação, programado para registro automático do trajeto percorrido pelo equipamento durante todo o período que permanece na lagoa. O flutuador foi dimensionado de forma que o volume vazio fosse suficiente para garantir um empuxo maior que o peso de todo o equipamento e flutuasse com a menor exposição possível ao vento.

De acordo com o manual do GPS, o uso de duas pilhas alcalinas forneceria cerca de 20h de vida útil com o aparelho ligado. Dado o grande tempo de detenção hidráulica nas lagoas, suspeitou-se que um possível fluxo lento nas lagoas tornaria as 20h insuficientes para

possibilitar a visualização de qualquer trajeto percorrido pelo *drogue*. Então uma bateria externa, com 16 pilhas, foi adaptada e conectada ao GPS, aumentando a vida útil pra cerca de 160h. De forma a verificar alguma eventual diferença decorrente do uso de diferentes modelos de GPS, foi utilizado o modelo GARMIN 60CS® na lagoa facultativa e o modelo GARMIN ETREX® na lagoa de maturação (Figura 4.16).



**Figura 4.16** - GPS e bateria adaptada para utilização no *drogue*.

Posteriormente, o projeto do *drogue* foi modificado para que fosse possível o ajuste de acordo com a profundidade de cada lagoa. No lugar dos braceletes de alumínio, foram presas duas cordas, de comprimentos ajustáveis (Figura 4.17). O equipamento foi utilizado com 1,20m na lagoa facultativa e 0,60m na lagoa de maturação.



**Figura 4.17** - *Drogue* montado como parte desta pesquisa, com comprimento ajustável, para registro do fluxo nas lagoas.

O GPS e a bateria foram introduzidos no flutuador e o *drogue* deixado próximo à entrada de cada lagoa, permanecendo seis dias na lagoa facultativa e três dias na lagoa de maturação. As trajetórias obtidas foram comparadas com o modelo em CFD.

Após revisão de literatura a respeito, acredita-se que este trabalho é o primeiro registro do uso de um GPS acoplado a um *drogue*, obtendo-se um registro automático do trajeto percorrido pelo equipamento ao longo do período que permaneceu na lagoa.

#### **4.2.4 Avaliação hidrodinâmica - Modelagem em CFD**

De modo a avaliar as condições hidráulicas de funcionamento das lagoas, foi construído um modelo em CFD, cujas etapas metodológicas estão resumidamente apresentadas na Tabela 4.4. Basicamente, as etapas envolvem a construção de uma geometria tridimensional que represente as lagoas, o desenvolvimento de uma malha de volumes finitos, definição de condições de contorno, modelos de cálculos, equações de interesse e processamento. Os itens seguintes descrevem com mais detalhes essas etapas

O *software* de CFD utilizado foi o Ansys 11.0®. O pacote inclui um gerador de malha (Workbench®) e um módulo de pré-processamento, processamento e pós-processamento (CFX 11.0®). Para a construção da geometria, foi utilizado o *software* Rhinocerus 3d®.

**Tabela 4.4** - Etapas metodológicas para modelagem em CFD.

<b>ETAPAS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Instalação dos programas: Ansys CFX, Ansys Workbench, Rhinoceros	Definir programas ou verificar outras possibilidades
Teste dos programas e solução de eventuais erros de instalação	
Verificação da geometria das lagoas em campo e no projeto executivo e definir dados de entrada (input)	Comprimento, largura, profundidade, taludes, material das paredes, dimensões e localização da entrada de esgoto, dimensões e localização da saída do esgoto, condições de contorno
Construção da geometria no computador	Desenho em 3D dessa geometria, com todos os elementos
Construção da malha	Geração de uma malha de cálculo genérica
Simulação prévia	Verificação de erros grosseiros de simulação
Teste de malhas	Verificação da melhor malha: se estruturada ou não estruturada, refinada ou mais grosseira.
Definição da malha	A mais indicada para o tipo de problema e a que melhor atende o par “Bom Resultado <i>versus</i> Convergência”
Simulação da hidráulica	Definições de turbulência, propriedades do fluido, condições de contorno do modelo, implementação de equações de interesse, métodos de cálculo.
Calibração e validação do modelo hidráulico	Comparação e ajuste entre os dados numéricos e gráficos obtidos na simulação e os resultados obtidos com ensaios de campo (corantes e <i>drogues</i> lançados nas duas lagoas).
Obtenção do TDH real, número de dispersão “d” e coeficiente de dispersão “D” das lagoas	Ensaio com traçadores simulados em CFD

#### 4.2.4.1 Geometria

De forma geral, a geometria tridimensional de cada lagoa foi construída de acordo com as informações de projeto, verificadas também em campo, e apresentadas nas figuras 4.5 e 4.6 e nas tabelas 4.2 e 4.3. Foi utilizado o software Rhinoceros 3D® (Rhino, Inc).

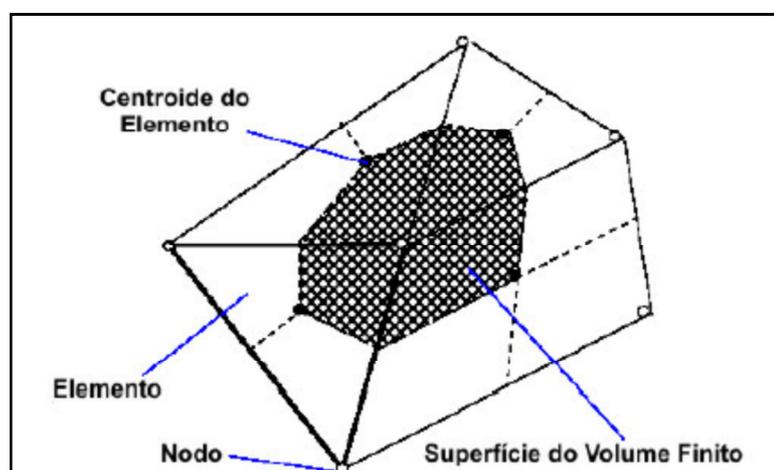
A geometria deve representar o domínio da simulação; portanto, considerou-se somente o volume da lagoa ocupado pelo esgoto, com a profundidade atual de operação de cada lagoa.

Para ser processada nas etapas posteriores, a geometria deve ser exportada como um ‘sólido’ em um arquivo de saída. Todos os 26 formatos possíveis foram testados, sendo que os formatos que geram um sólido foram *parasolid(.x\_t)* e *IGES(.igs, .iges)* (*initial graphics exchange specification*). As duas extensões foram utilizadas; entretanto, o arquivo IGES apresentou menores problemas quanto a compatibilidade de arquivos. Portanto, todos os

arquivos de geometria foram exportados no formato IGES para processamento na etapas posterior (importação dos arquivos no Workbench®, para geração e edição da malha).

#### 4.2.4.2 Malha

Um elemento importante da solução numérica é a malha. Ela representa a discretização do domínio de solução. A malha é considerada como uma coleção de volumes algoritmicamente descritos cobrindo toda a área do domínio coincidindo com as fronteiras. Os volumes são referidos como células ou elementos de malha. Os vértices dos volumes são referidos como nós da malha. O método de geração de malhas utilizado no CFX é o método dos Volumes Finitos, cuja elemento de malha é apresentado na Figura 4.18. Na figura, o volume finito corresponde à parcela sombreada.



**Figura 4.18** - Superfície do volume finito (Adaptado de ANSYS CFX 11.0, 2006).

O conjunto de equações necessárias para a solução do problema CFD é associado a cada um desses elementos, com as fronteiras operando como condição de contorno para os elementos próximos. O resultado da simulação é obtido através da solução associada de cada um desses elementos. A qualidade do resultado do cálculo depende diretamente da qualidade da malha.

Não há critérios gerais para avaliar a qualidade de uma malha para um dado problema. No presente estudo, fez-se um estudo de independência de malha, realizando simulações nas mesmas condições físicas e de contorno em malhas progressivamente mais refinadas até que foi obtida uma malha na qual um maior refinamento não alterou significativamente os resultados da simulação.

Para definição do tipo de malha a ser utilizada, foram ponderados os seguintes critérios:

- Uma malha estruturada apresenta a vantagem de permitir uma razão de aspecto (dimensões desiguais) grande nos elementos sem provocar erros numéricos. Malhas estruturadas não são versáteis, não se ajustando bem a geometrias complexas; este tipo de malha não lida bem com deformação dos elementos, não sendo recomendáveis ângulos muito diferentes de noventa graus entre as arestas do elemento.

- Uma malha não-estruturada, por outro lado, é muito versátil e adaptável, podendo ser usada em geometrias complexas sem maiores problemas. No entanto, apresenta problemas de ordenação já que o número de elementos vizinhos para cada elemento pode ser diferente. Além disso, estas malhas não permitem grandes razões de aspecto devido aos erros numéricos que surgem.

Como a geometria da lagoa impõe a condição taludes inclinados, gerando arestas com ângulos variados, foi utilizada a malha não-estruturada. Considerou-se que os possíveis erros numéricos advindos das grandes razões de aspectos seriam minimizados, devido às grandes dimensões da lagoa.

Portanto, foi gerada uma malha não-estruturada superficial de elementos triangulares sobre a geometria de cada lagoa, através do método de triangulação de *Delaunay*, que acontece em duas etapas. Na primeira etapa, pontos são posicionados em toda a fronteira do domínio. Na segunda etapa, a triangulação de um conjunto de pontos é definida pela condição de círculo vazio, a qual determina que um triângulo é válido quando a circunferência que o circunscreve não inclui outro ponto do conjunto. A triangulação de *Delaunay* maximiza os ângulos mínimos para todos os elementos triangulares superficiais gerados, o que é um pré-requisito para uma boa qualidade de elementos de malha.

Após a geração da malha superficial, procedeu-se a construção da malha volumétrica

O método de geração de malha volumétrica não-estruturada foi o AFMV (*Advancing Front Volume Mesher*), padrão do CFX. O método gera elementos volumétricos tetraédricos e piramidais avançando por camadas, partindo da malha superficial, até preencher todo o domínio com elementos. Segundo Liseiki (1999), o AFVM oferece a vantagem de proporcionar um posicionamento dos pontos de alta qualidade e integridade das fronteiras.

O arquivo da malha volumétrica, exportado no formato *GTM file*, foi utilizado no módulo de pré-processamento do CFX para definição de todas as variáveis, equações e condições de contorno do problema.

#### 4.2.4.3 Equações gerais do modelo

Todos os escoamentos obedecem às leis de conservação de massa, quantidade de movimento linear e de energia. Normalmente, essas leis são descritas em sua forma diferencial a qual é aplicável a um ponto, podendo ser também descritas em sua forma integral aplicável a uma região. Assim, é possível descrever qualquer escoamento a partir dessas equações.

Portanto, admitindo o fluido como Newtoniano e adotando um sistema de coordenadas cartesianas (x, y, z), temos, para o modelo convectivo/difusivo tridimensional transiente, as seguintes equações diferenciais resolvidas numericamente em cada elemento de malha do modelo:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x v_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y v_x) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z v_x) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu \frac{\partial v_x}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu \frac{\partial v_x}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu \frac{\partial v_x}{\partial z}\right) + S^u \quad (4.2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v_y) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x v_y) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y v_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z v_y) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu \frac{\partial v_y}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu \frac{\partial v_y}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu \frac{\partial v_y}{\partial z}\right) + S^v \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v_z) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x v_z) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y v_z) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z v_z) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\mu \frac{\partial v_z}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\mu \frac{\partial v_z}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\mu \frac{\partial v_z}{\partial z}\right) + S^w \quad (4.4)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z) = 0 \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \phi) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x \phi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y \phi) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho v_z \phi) = \frac{\partial}{\partial x}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial \phi}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial \phi}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\Gamma^\phi \frac{\partial \phi}{\partial z}\right) + S^\phi \quad (4.6)$$

onde:

$\rho$  = massa específica do fluido ( $ML^{-3}$ );  
 $v_x$  = componente x (u) do vetor velocidade U ( $LT^{-1}$ );  
 $v_y$  = componente y (v) do vetor velocidade U ( $LT^{-1}$ );  
 $v_z$  = componente z (w) do vetor velocidade U ( $LT^{-1}$ );  
 $t$  = tempo (T);

$p$  = pressão ( $ML^{-1}T^{-2}$ );  
 $\mu$  = viscosidade dinâmica absoluta ( $ML^{-1}T^{-1}$ );  
 $S$  = termo fonte;  
 $\Gamma$  = coeficiente difusivo ( $ML^{-1}T^{-1}$ );  
 $\phi$  = variável genérica.

As equações 4.2, 4.3 e 4.4 são as equações de conservação da quantidade de movimento em  $x$ ,  $y$  e  $z$ , respectivamente. A equação 4.5 é a equação de conservação da massa e a equação 4.6 é a equação de conservação na forma geral para uma variável genérica  $\phi$ , onde  $\Gamma$  é o coeficiente difusivo de  $\phi$  e  $S$  representa o termo fonte de  $\phi$  (forças que atuam no fluido).

#### 4.2.4.4 Modelo de turbulência

Uma característica importante do escoamento turbulento é que as flutuações de velocidade influenciam o progresso do escoamento médio, fazendo com que exiba, aparentemente, aumento da resistência à deformação. Em outras palavras, o movimento flutuante age sobre o movimento médio de tal forma que a viscosidade aparentemente aumenta. Isto é o fundamento teórico central no desenvolvimento de um grande número de modelos de turbulência conhecidos como modelos de viscosidade turbulenta ou modelos de primeira ordem (SCHLICHTING e GERSTEN, 2003).

Existe uma larga gama de modelos de viscosidade turbulenta que são classificados pelo número de equações diferenciais usados, podendo variar de zero a duas equações. Os modelos de duas equações apresentam maior generalidade sendo assim os mais usados na prática de CFD. Apesar disso, cada modelo apresenta um número grande de características próprias o que dificulta a escolha do modelo mais apropriado para cada geometria. Cita-se como modelos de turbulência os modelos  $k$ - $\epsilon$  (produção e dissipação de energia cinética turbulenta),  $k$ - $\omega$  (frequência dos turbilhões) e SST (*Shear Stress Transport* – modelo híbrido do  $k$ - $\epsilon$  e  $k$ - $\omega$ ).

O modelo  $k$ - $\epsilon$  é um dos modelos de duas equações mais utilizados em simulações de CFD, proporcionando uma boa relação entre esforço computacional e precisão. Segundo Pinheiro (2008), “o modelo  $k$ - $\epsilon$  é um modelo robusto no estudo de escoamentos complexos, mas pouco elucidativo nos fenômenos que ocorrem na camada limite da superfície de escoamento, nesse ponto, o modelo  $k$ - $\omega$  é mais eficiente, porém a equação  $\omega$  é muito sensível para a descrição de escoamentos livres, o que torna inviável a substituição do modelo  $k$ - $\epsilon$  pelo  $k$ - $\omega$ ”. A fim de

resolver esse problema, uma combinação do modelo k- $\omega$  próximo à superfície e do modelo k- $\epsilon$  na região afastada foi proposto por Menter (1992), levando ao desenvolvimento do modelo SST (*Shear Stress Transport* – Transporte de tensão cisalhante). O modelo SST consiste em uma transformação do modelo k- $\epsilon$  para uma formulação k- $\omega$  e uma subsequente adição das equações correspondentes. O modelo k- $\omega$  é multiplicado desse modo por uma função acopladora F1 e o modelo transformado k- $\epsilon$  por uma função 1-F1. F1 se torna igual à unidade na região logarítmica (perto das superfícies) e nula fora da mesma. Assim, na camada limite, o modelo k- $\omega$  é usado, e, na borda e fora da camada limite, o modelo k- $\epsilon$  padrão é usado.

Tendo em vista que para a presente pesquisa ambas as características são desejáveis, o modelo utilizado foi o SST.

Após manipulação matemática, as equações finais do modelo SST para  $\bar{k}$  (energia cinética turbulenta) e  $\omega$  (frequência dos turbilhões) são:

$$\frac{\partial(\rho\bar{k})}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\bar{u}_j\bar{k}) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{k3}} \right) \frac{\partial \bar{k}}{\partial x_j} \right] + (P_k - \beta' \rho\bar{k}\omega) \quad (4.7)$$

$$\frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho\bar{u}_j\omega) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{k3}} \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + (1-F) \frac{2\rho}{\sigma_{\omega 2}\omega} \frac{\partial \bar{k}}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} + \alpha_3 \frac{\omega}{\bar{k}} P_k - \beta_3 \rho\omega^2 \quad (4.8)$$

onde:

- $\rho$  = Massa específica ( $ML^{-3}$ )
- $\bar{k}$  = Energia cinética turbulenta ( $L^2T^{-2}$ )
- $\mu$  = Viscosidade dinâmica ( $ML^{-1}T^{-1}$ )
- $\mu_t$  = Viscosidade turbulenta ( $ML^{-1}T^{-1}$ )
- $u_j$  = Componente j da velocidade ( $LT^{-1}$ )
- $P_k$  = Produção de turbulência ( $ML^{-1}T^{-3}$ )
- $\omega$  = Taxa de dissipação turbulenta específica ( $ML^2T^{-3}$ )

As demais constantes do modelo SST são uma combinação linear das constantes correspondentes aos modelos k- $\epsilon$  e k- $\omega$ , obtidas através da relação apresentada na Equação abaixo:

$$\Phi_3 = F_1\Phi_1 + (1-F_1)\Phi_2 \quad (4.9)$$

Na qual  $\Phi_1$  representa as constantes do modelo k- $\epsilon$  e  $\Phi_2$  as do modelo k- $\omega$ .

As funções de acoplamento são fundamentais para o sucesso do método. Sua formulação é baseada na distância entre o ponto analisado e a superfície mais próxima e nas variáveis do escoamento. A função acopladora  $F_1$  é dada por:

$$F_1 = \tanh \left\{ \left[ \text{MÍNIMO} \left[ \text{MÁXIMO} \left( \frac{\sqrt{\bar{k}}}{\beta' \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right), \frac{4\rho\bar{k}}{CD_{k\omega} \sigma_{\omega 2} y^2} \right] \right]^4 \right\} \quad (4.10)$$

onde:

$$CD_{k\omega} = \text{MÁXIMO} \left( 2\rho \frac{1}{\sigma_{\omega 2} \omega} \frac{\partial \bar{k}}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j}, 10^{-10} \right) \quad (4.11)$$

Na Equação 4.10,  $y$  é a distância do ponto avaliado para a parede mais próxima (superfície de não deslizamento) e  $\nu$  é a viscosidade cinemática do fluido ( $L^2T^{-1}$ ).

No modelo SST, existe um limite superior para a tensão cisalhante turbulenta na camada limite. Isto evita níveis excessivos de tensão cisalhante, problema presente em outros modelos baseados na hipótese de viscosidade turbulenta. No modelo, a viscosidade turbulenta é definida como:

$$\mu_t = \rho \frac{a_1 \bar{k}}{\text{MÁXIMO}(a_1 \omega, SF_2)} \quad (4.12)$$

Onde  $a_1$  é uma constante com valor típico de 0,31 (ANSYS CFX 11.0, 2006) e  $S$  é o tensor de tensões médias absoluto ( $ML^{-1}T^{-2}$ ), definido pelas equações abaixo:

$$S = \sqrt{S_{ij} S_{ij}} \quad (4.13)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4.14)$$

$F_2$  é a função que restringe as tensões cisalhantes turbulentas na camada limite, definida por:

$$F_2 = \tanh \left\{ \left[ \text{MÁXIMO} \left( \frac{2\sqrt{k}}{\beta' \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right) \right]^2 \right\} \quad (4.15)$$

#### 4.2.4.5 Condições de contorno

Foi utilizada a condição de contorno ‘entrada’ (*inlet*) para os locais de aporte do fluido nas unidades (duas entradas na lagoa facultativa e uma entrada na lagoa de maturação). A partir daí foram definidos a magnitude, direção e sentido do fluido que entra no domínio, além de informações sobre as condições de turbulência e perturbações presentes no escoamento.

Existem diferentes maneiras de se definir a condição de entrada. No CFX é possível definir valores para a vazão mássica, para a velocidade ou para a pressão como condição de entrada. A velocidade em cada entrada foi definida por meio da equação 4.16 abaixo:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (4.16)$$

onde Q é a vazão de entrada (m<sup>3</sup>/s) e A é a área da seção transversal da tubulação (m<sup>2</sup>).

Para a turbulência, foi adotado o valor típico de 5%, supondo que o escoamento entra no domínio medianamente perturbado. Tal valor é recomendado quando não se tem dados experimentais, nem informações a respeito da turbulência na entrada (ANSYS CFX 11.0, 2006).

Para os dispositivos de saída da lagoa, foi utilizada a condição de ‘abertura’ (*Opening*), onde se ajusta a pressão relativa (ajustada como nula), condições de turbulência (5 %) e demais variáveis do modelo. A condição de contorno ‘saída’ também foi testada, mas é mais recomendada quando se conhece com exatidão a direção dos vetores de saída. Nas simulações prévias, de teste, os resultados com a condição de saída *Outlet* não apresentaram boa convergência.

A condição de contorno de parede (*Wall*) define fronteiras onde ocorrem interações do escoamento com superfícies sólidas. Esta condição pode ser definida como sem escorregamento - velocidade tangencial igual à zero na interface sólido/fluido - ou com escorregamento - sem restrição à velocidade tangencial na interface. Para as paredes dos

taludes das lagoas, foi definida condição de não deslizamento (*No slip*), com velocidade tangencial igual a zero na interface e condições de rugosidade suave, já que os materiais que compõe os taludes apresentam tal característica; como é o caso da argila compactada (taludes da lagoa facultativa) e manta de PEAD – Polietileno de Alta Densidade (revestimento dos taludes da lagoa de maturação, ainda menos rugosa). Para a superfície das lagoas, foram testadas as condições de abertura (*Opening*) e parede (*Wall*), essa última com escorregamento (*Free slip*), representando uma superfície sem atrito e que não oferece resistência ao escoamento, e sem escorregamento (*No slip*), com velocidade tangencial ao fluido. Na condição de parede *No Slip*, é possível a adição de tensões de cisalhamento em qualquer direção com intensidade definida, situação que não ocorre com a condição *Opening*. Portanto, de forma a contemplar a influência do vento no escoamento, foi escolhida a segunda condição (*Wall*). Nesse caso, foram inseridas, na superfície, a velocidade e direção dos ventos predominantes na área das lagoas. Para todas as condições de contorno, também foram definidos os parâmetros e as condições de simulação para interações de parede.

Para todo o domínio, foram definidas as propriedades do fluido como sendo as mesmas da água (Tabela 4.5), com temperatura igual à temperatura média do esgoto bruto, obtida com os dados de monitoramento da COPASA.

**Tabela 4.5** – Propriedades do fluido definidas para a simulação em CFD.

	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
Densidade	kg/m <sup>3</sup>	997
Massa molar	g/mol	18,02
Viscosidade dinâmica	kg/m.s	8,899 x 10 <sup>-4</sup>
Condutividade Térmica	W/m.K	0,6069
Capacidade calorífica específica	J/Kg.K	4181,7
Temperatura	° C	24,7 (Facultativa) /25,6 (Maturação)

A aproximação das propriedades do esgoto às da água foi assumida devido à ausência de dados experimentais e registros na literatura, e também à similaridade entre os dois fluidos quanto as propriedades de escoamento, já que o esgoto é composto por aproximadamente 99,9% de água (VON SPERLING, 2005). Ademais, em todos os trabalhos em lagoas acessados como parte da presente pesquisa, referente à utilização de CFD em lagoas de estabilização, os autores utilizaram a água como fluido ou não fizeram menção a respeito. Em

relação aos sólidos suspensos presentes no esgoto, Alvarado *et. al.* (2011) relatam não afetar as propriedades do fluido definidas para simulação.

#### 4.2.4.6 Critérios de processamento

Os modelos foram simulados nas condições de regime permanente (*steady state*) e transiente (*transient*). Definiu-se como critério de convergência o RMSE (*Root Mean Square Error*) de  $10^{-4}$  para todas as variáveis. Para as simulações em regime transiente, o critério para término da etapa de processamento foi o tempo total de simulação, com ajustes dos passos de tempo para cada iteração (*timesteps*) na busca da maior estabilidade possível para as simulações.

Nesse sentido, um dos parâmetros que foi verificado durante os cálculos das simulações em regime transiente (etapa de processamento) foi o número de Courant, definido, na forma unidimensional, por:

$$\boxed{Courant = \frac{u\Delta t}{\Delta x}} \quad (4.17)$$

Onde  $u$  é a velocidade do fluido,  $\Delta t$  é o *timestep* e  $\Delta x$  é o tamanho da malha. O número de Courant calculado no CFX é uma generalização multidimensional dessa expressão, onde a velocidade e a escala de comprimento são baseados no fluxo de massa dentro do volume de controle e na dimensão desse volume de controle.

Considerando que a velocidade do fluido é um dado de saída do modelo, as demais variáveis devem ser ajustadas a fim de se produzir um número de Courant menor possível. Valores ideais se aproximam da unidade (ANSYS CFX, 2006). Entretanto, pequenos número de Courant não se configuram como exigência para estabilidade da solução, apenas melhoram o resultado para simulações em regime transiente (ANSYS CFX, 2006).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise dos dados de monitoramento

Primeiramente será apresentado um breve resumo do sistema como um todo, ou seja, variáveis de qualidade do esgoto bruto, da lagoa facultativa e lagoa de maturação. Também serão apresentadas as eficiências do sistema para algumas variáveis (média das eficiências mensais). Os dados correspondem a todo o período de monitoramento (1994 – 2010).

A seguir, será apresentada uma avaliação mais detalhada, enfocando cada unidade separadamente, variáveis isoladas, relação entre variáveis, eficiências, relação de cargas, vazões, períodos de monitoramento, efluente das aeronaves etc.

#### 5.1.1 Resumo dos resultados

A Tabela 5.1 resume alguns dados de qualidade (em termos de concentração) do esgoto bruto, da lagoa facultativa e da lagoa de maturação. A Tabela 5.2 apresenta a eficiência média de remoção para cada unidade e para o sistema como um todo.

**Tabela 5.1** - Concentração média, mediana e desvio padrão das variáveis de qualidade do efluente.

	ESGOTO BRUTO			LAGOA FACULTATIVA			LAGOA DE MATURAÇÃO		
	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO
DBO	235	201	148	41	32	35	45	36	35
DQO	472	417	288	152	133	97	188	157	119
SST	201	163	147	52	39	46	46	37	39
SSV	174	146	132	46	36	43	40	31	36
SSF	36	27	32	8	6	8	8	6	8
CLORETO	40	39	16	38	40	12	58	48	27
N-TOTAL	57	51	28	17	14	12	14	12	11
N-AMONICAL	49	41	28	11	9	9	9	7	7
FÓSFORO	4,9	4,4	3,0	1,9	1,7	1,1	1,8	1,5	1,3
ÓLEOS/GRAXAS	48	40	40	20	14	23	27	20	34
DETERGENTES	2,4	2,2	1,5	0,6	0,6	0,3	0,2	0,1	0,2
ACIDEZ	51	46	34	11	7	16	2	0	4
ALCALINIDADE	318	310	130	141	140	64	127	122	48
SÓL. TOTAIS	713	718	252	391	382	112	444	402	170
pH	7,6	7,6	0,4	8,8	8,8	0,6	9,6	9,6	0,7
OD	-	-	-	5,3	4,9	2,3	9,1	9,4	2,7
SÓL. SEDIM.	8,7	8,8	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>E. coli</i>	1,94E+07*	1,80E+07	6,60E+08	5,96E+03*	1,10E+04	1,19E+06	3,06E+02*	3,30E+02	3,57E+04

Para todos as variáveis a unidade adotada é mg/l, com exceção de pH (sem unidade), Sólidos Sedimentáveis – mL/L e *E. coli* - NMP/100ml. \*Média geométrica.

**Tabela 5.2** - Eficiência média de remoção de algumas variáveis, para cada unidade e para o sistema.

	<b>LAGOA FACULTATIVA</b>		<b>LAGOA DE MATURAÇÃO</b>		<b>SISTEMA</b>	
	<b>MÉDIA</b>	<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>DESVIO PADRÃO</b>
<b>DBO</b>	77	17	-22	55	77	17
<b>DQO</b>	52	30	-16	55	52	27
<b>SST</b>	59	38	-31	95	62	48
<b>SSV</b>	56	41	-32	117	57	73
<b>SSF</b>	58	46	-37	141	64	57
<b>CLORETO</b>	-1	27	-8	28	-9	39
<b>N-TOTAL</b>	59	29	1	44	67	29
<b>N-AMONICAL</b>	63	31	16	38	73	24
<b>FÓSFORO</b>	43	27	18	29	53	30
<b>ÓLEOS/GRAXAS</b>	48	50	1	69	50	55
<b>SÓL. TOTAIS</b>	28	42	-4	33	35	27
<b>SÓL. SEDIM.</b>	100	0	100	0	100	0
<b><i>E. coli</i></b>	3,5	1,4	1,4	1,0	4,7	1,4

Eficiência em %, exceto para *E. coli* – Unidades log de remoção.

De forma geral, o efluente do aeroporto apresentou concentrações semelhantes ou ligeiramente inferiores às do esgoto doméstico para a maioria dos constituintes de qualidade, apresentando características típicas de esgotos mais diluídos. As concentrações médias de DBO, DQO, SST, SSV, SSF, fósforo total, óleos e graxas, cloreto e detergentes total se situaram abaixo da típica reportada em literatura para esgotos domésticos. Já as concentrações de nitrogênio amoniacal e a alcalinidade superaram os valores típicos de literatura

Nota-se que, no geral, a ETE não apresentou eficiência global satisfatória na remoção de matéria orgânica (principalmente quanto à remoção de DQO) e sólidos.

Em relação ao efluente final, notam-se elevados valores de pH e OD, resultado da intensa produção algal.

A ETE apresentou ótima eficiência na remoção de *E. coli*, principalmente devido à elevada remoção que ocorreu na lagoa facultativa. Observou-se boa remoção na ETE também em relação aos nutrientes, notadamente na lagoa facultativa (boa remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e fósforo total). Na lagoa de maturação foi observada uma pequena remoção de nitrogênio amoniacal e não houve remoção significativa de nitrogênio total e fósforo total.

### 5.1.2 Panorama climático

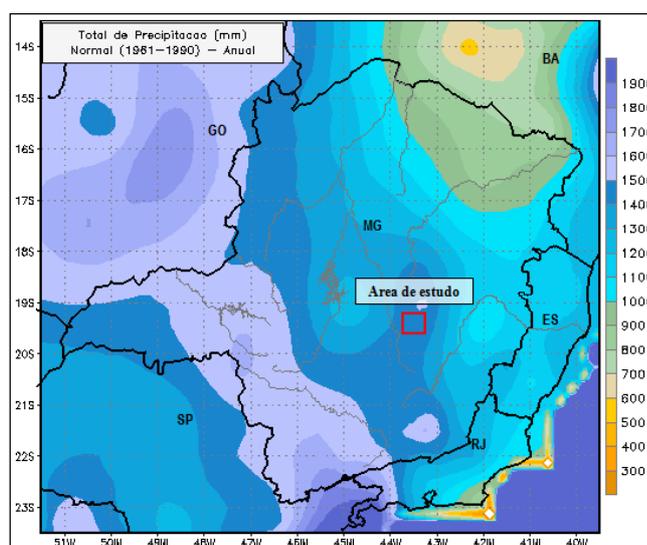
O objetivo deste tópico é apenas apresentar um panorama geral das condições climáticas e meteorológicas no local. Alguns desses dados serão tratados isoladamente em itens

específicos ou quando da discussão de resultados que possam estar relacionados com tais variáveis.

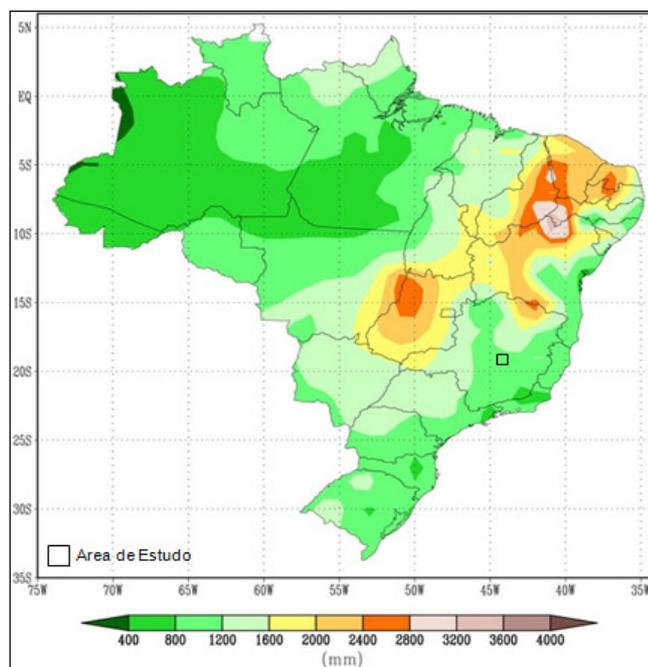
De acordo com a classificação climática adotada no Mapa do Clima do Brasil (IBGE, 2005), o AITN está inserido em uma região onde há ocorrência do clima Tropical Subúmido e Semiúmido com período seco de quatro a cinco meses. Esse clima está associado principalmente à influência da altitude e do regime pluviométrico (NIMER, 1989).

Segundo Nimer (1989), este tipo climático tem como característica a ocorrência de temperatura média inferior a 18 °C em pelo menos um mês do ano. Geralmente, no mês de junho ou julho, a temperatura média varia de 15 a 18 °C. Ainda segundo o autor, o regime de precipitação de regiões de Minas Gerais com classificação climática semelhante apresenta a época seca no período de maio a agosto.

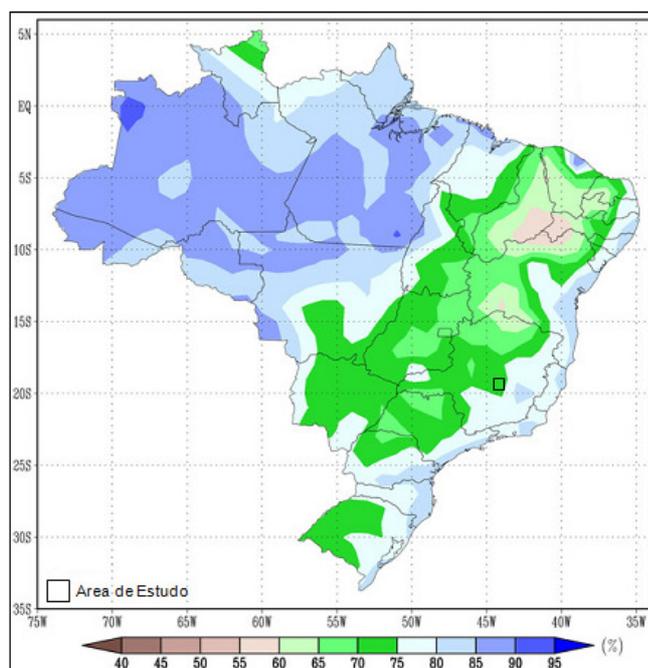
Nas figuras abaixo (Figura 5.1 a 5.4) estão apresentados mapas com informações climáticas do Brasil e/ou Minas Gerais, com destaque da área em estudo.



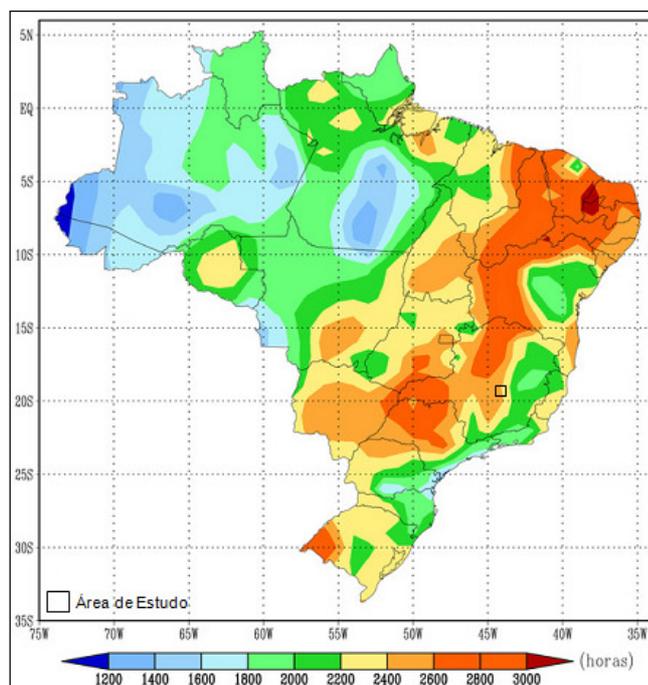
**Figura 5.1** - Mapa Climático de Precipitação Pluviométrica Acumulada Anual – 1961-1990 (SIMGE, 2011).



**Figura 5.2 -** Mapa Climático de Evaporação – 1961-1990 (INMET, 2011).



**Figura 5.3 -** Mapa Climático de Umidade Relativa do Ar – 1961-1990 (INMET, 2011).



**Figura 5.4 - Mapa Climático de Insolação – 1961-1990 (INMET, 2011).**

O panorama climático e as figuras apresentadas sugerem que a ETE está localizada em região de condições favoráveis para utilização de lagoas de estabilização. Na Figura 5.4, por exemplo, a área está apontada como situada em região de elevada insolação (média de 2500 h/ano) e na Figura 5.2, em local com menores índices de evaporação.

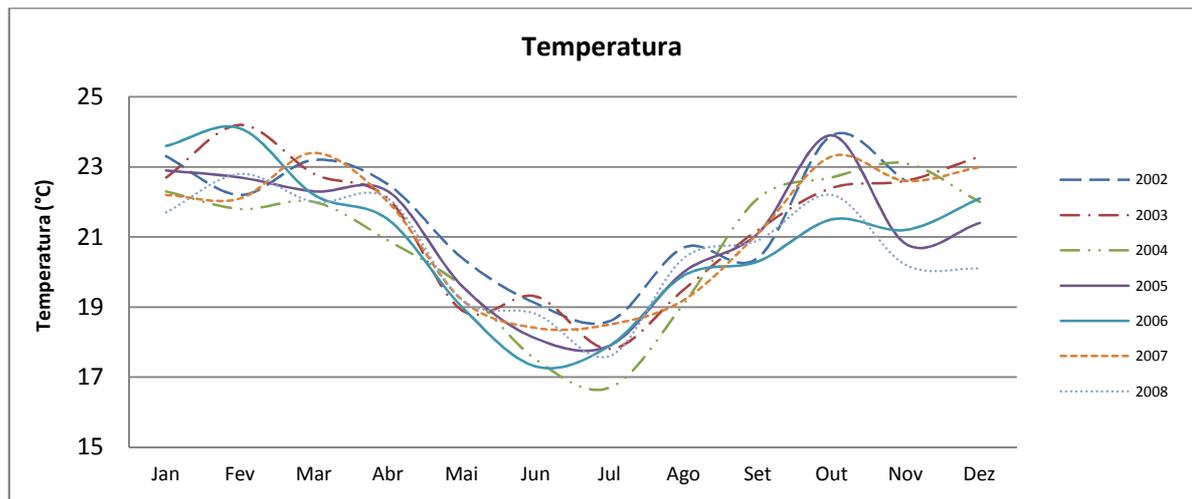
Sumarizam-se, na Tabela 5.3, os dados referentes às condições climáticas e meteorológicas específicas da área do aeroporto (estatística descritiva). Os dados se referem a médias mensais, de 1991 a 2010.

**Tabela 5.3** - Estatísticas descritivas dos dados climáticos e meteorológicos referentes à plataforma do AITN – Confins - MG.

	T Med(°C)	T Min(°C)	T Max(°C)	UR Med (%)	Vel Vnt (nós)	Neb Med(octas)	PPT(mm)
<b>Núm dados</b>	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>83</b>	<b>239</b>
<b>Mínimo</b>	17	7	18	58	3	1	0
<b>Máximo</b>	24	18	36	100	7	6	642
<b>Coef. Var</b>	0,09	0,23	0,08	0,12	0,17	0,41	1,13
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>							
<b>Média</b>	21,1	13,6	30,7	77,6	5,1	3,9	103,8
<b>Mediana</b>	21,6	14,1	30,9	78,0	5,0	4,0	57,1
<b>DISPERSÃO</b>							
<b>Desvio padrão</b>	1,9	3,1	2,6	9,2	0,9	1,6	117,8
<b>Méd - 1 dp</b>	19,2	10,5	28,1	68,4	4,2	2,3	-14,0
<b>Méd + 1 dp</b>	23,0	16,7	33,3	86,7	5,9	5,5	221,7
<b>PERCENTIS</b>							
<b>10%</b>	18,4	9,2	27,9	63,6	3,9	2,0	0,0
<b>25%</b>	19,6	11,2	29,6	71,8	4,4	2,5	12,1
<b>50%</b>	21,6	14,1	30,9	78,0	5,0	4,0	57,1
<b>75%</b>	22,6	16,4	32,3	85,0	5,7	5,0	163,3
<b>90%</b>	23,3	17,2	33,7	89,0	6,2	6,0	276,0

Das variáveis acima, a temperatura e a nebulosidade são as que mais fortemente influenciam o desempenho da lagoa quanto à eficiência de remoção de variáveis que dependem da atividade microbológica, como DBO, DQO e nutrientes. Já a velocidade dos ventos pode influenciar de forma mais acentuada o comportamento hidrodinâmico e a sedimentação dos sólidos.

Os dados de temperatura são tratados isoladamente no item 5.1.5, com dados de monitoramento na própria ETE (incluindo a temperatura do líquido) e a influência dos mesmos na remoção dos parâmetros discutida em cada tópico separadamente, quando pertinente. Em relação à variação ao longo de cada ano, a Figura 5.5 abaixo sugere menores temperaturas nos meses de maio a agosto e maiores temperaturas nos meses de outubro, janeiro e fevereiro (temperaturas médias).



**Figura 5.5** - Variação de temperatura ao longo dos anos na plataforma do AITN – Confins – MG.

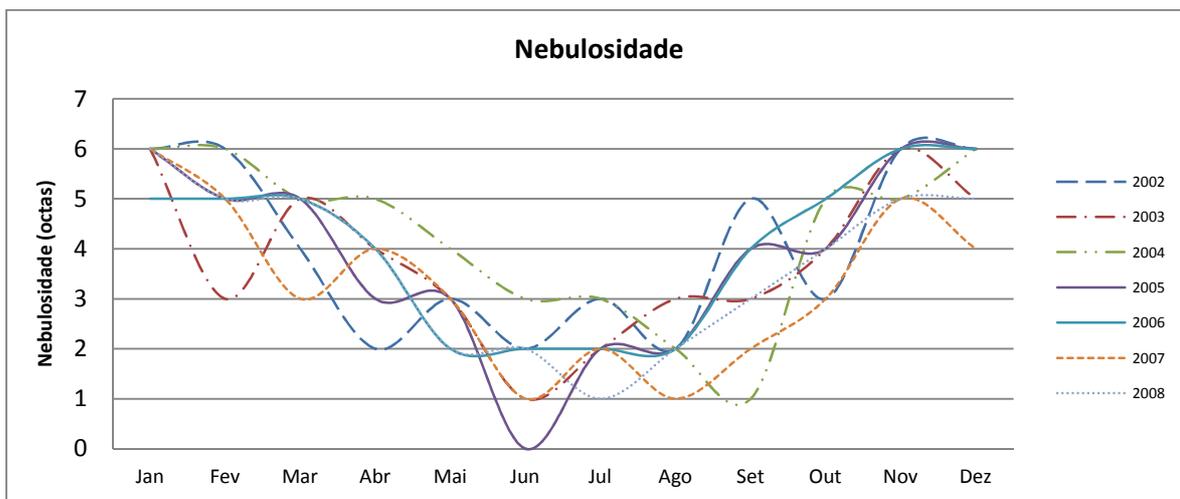
Conforme já comentado, a velocidade dos ventos apresentados na Tabela 5.3 diz respeito à área de pistas do aeroporto, distante da ETE. As medições realizadas nas imediações das lagoas foram tratadas separadamente mais adiante.

A nebulosidade é um elemento meteorológico que traduz a fração da abóbada celeste que é ocupada por nuvens. Segundo as normas meteorológicas atuais, o céu é dividido em octas (ou décimas, dependendo da região) e, a partir do número de octas com cobertura total de nuvens, a nebulosidade é dividida em (CPRM, 2011):

- a) **céu limpo ou ensolarado:** nenhum vestígio de nuvens (nenhuma octa encoberta).
- b) **céu quase limpo:** pelo menos uma octa está encoberta.
- c) **céu pouco nublado:** pelo menos duas octas encobertas;
- d) **céu parcialmente nublado:** pelo menos quatro octas (aproximadamente metade do céu) encobertas pelas nuvens;
- e) **céu quase nublado:** no mínimo seis octas encobertas.
- d) **céu nublado:** as oito octas estão totalmente encobertas pelas nuvens.

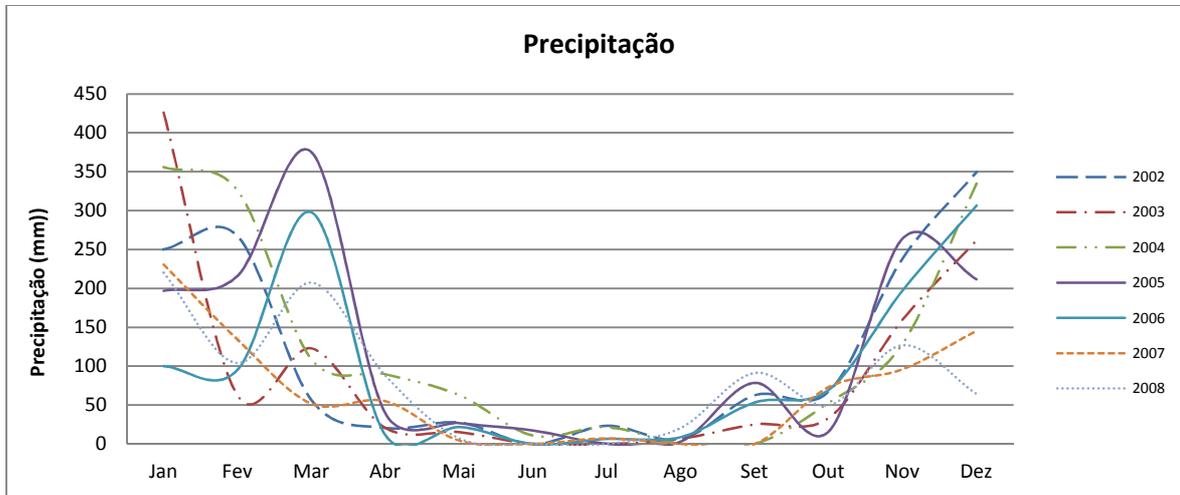
Nenhum dos dados de nebulosidade apresentados indicou “céu nublado”, sendo que o valor máximo de octas encobertas foi de 6 (céu quase nublado). Apesar da limitação do parâmetro em fornecer uma informação mais consistente, observam-se condições razoavelmente boas de nebulosidade na área, característica importante quando se trata de um sistema de tratamento altamente dependente da incidência de raios solares. A Figura 5.6

apresenta a variação da nebulosidade ao longo de cada ano, indicando céu mais limpo nos meses de junho a agosto.



**Figura 5.6** - Variação da nebulosidade ao longo de cada ano na plataforma do AITN – Confins - MG.

De acordo com a Tabela 5.3, a precipitação média foi de 103,8 mm. A variação ao longo dos anos está apresentada na Figura 5.7, que demonstra que a estação chuvosa compreende aos meses de novembro a março.



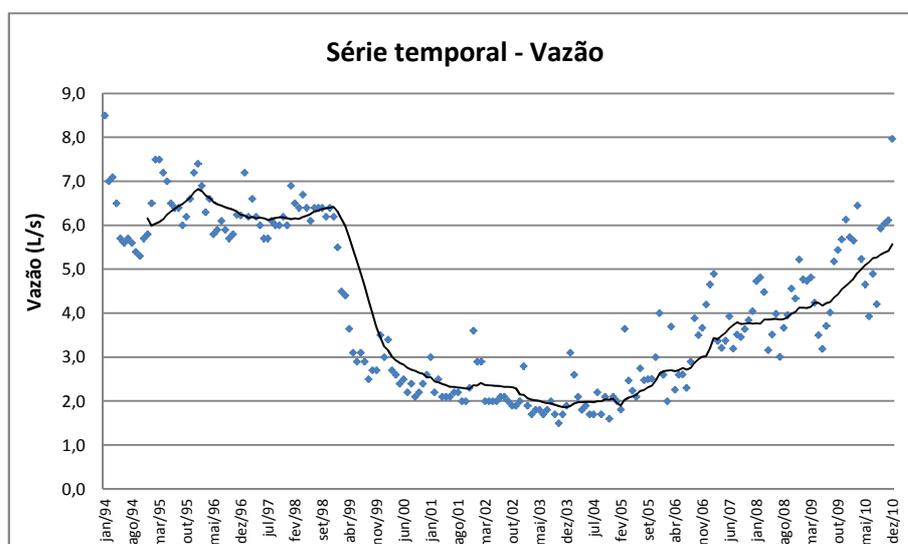
**Figura 5.7** - Variação da precipitação ao longo de cada ano na plataforma do AITN – Confins - MG.

### 5.1.3 Vazão e TDH

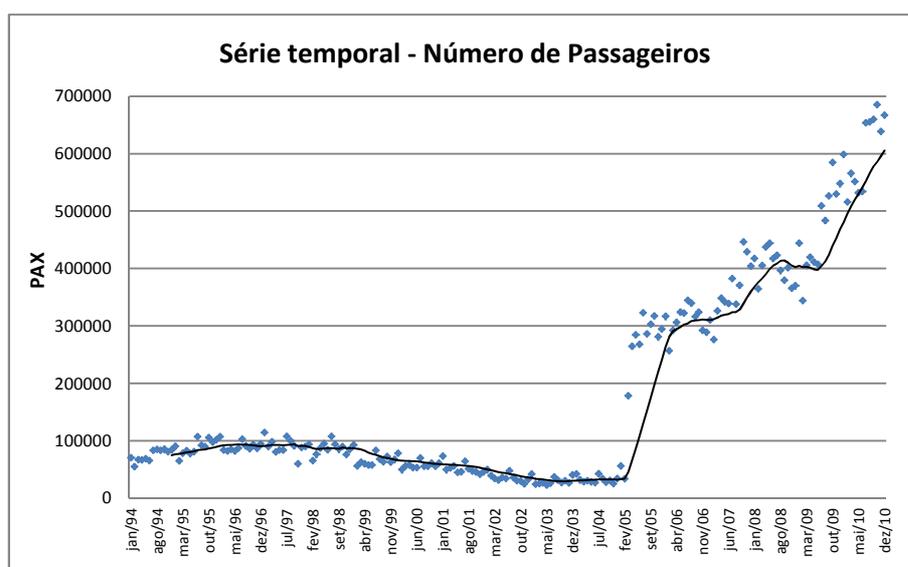
Conforme já comentado, os efluentes de aeroportos podem ser oriundos de instalações sanitárias das áreas administrativas e comerciais, instalações sanitárias das aeronaves, lavagem de equipamentos e veículos, lavagem de pátios e pistas, sistemas de ar condicionado

e atividades dos hangares (pintura, manutenção etc.). Portanto, outras variáveis, além da movimentação de passageiros, podem influenciar na vazão afluyente a ETE. Pode-se afirmar que existe uma vazão de esgoto “fixa”, decorrente das atividades de operação do aeroporto, e uma vazão “flutuante”, gerada com a movimentação de passageiros.

A Figura 5.8 ilustra a vazão afluyente a ETE, durante o período de monitoramento (médias mensais) e a Figura 5.9 a variação da movimentação de passageiros (total em cada mês) para o mesmo período. Foi também representada a média móvel anual (média de 12 meses) para os dois conjuntos de dados.



**Figura 5.8** - Série temporal da vazão afluyente a ETE Confins, com média móvel anual.



**Figura 5.9** - Série temporal da movimentação de passageiros no AITN, com média móvel anual.

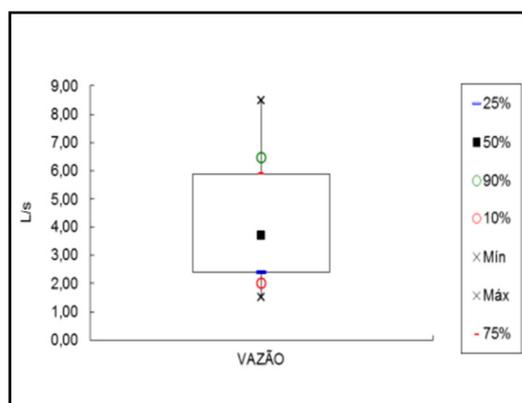
Com análise conjunta das variações e tendências observadas nas duas figuras, e considerando os fatos ocorridos no aeroporto, relatados a seguir, pode-se concluir:

- Até o ano de 1999 a vazão permaneceu em patamares elevados (entre 5,0 e 7,0 L/s).
- Em meados de 1999, foram instalados no aeroporto vários dispositivos para economia de água, a exemplo de válvulas de descargas mais econômicas, bacias sanitárias mais econômicas, válvulas de acionamento automático nas torneiras e mictórios (sensorizadas) etc. Tais dispositivos foram responsáveis por uma economia de água significativa no aeroporto, resultando, conseqüentemente, na diminuição do esgoto gerado.
- Em 2005, houve um aumento expressivo do número de passageiros. Tal fato é decorrente da transferência de grande parte dos voos regulares do Aeroporto Carlos Drummond de Andrade (Pampulha), em Belo Horizonte, para o Aeroporto Internacional Tancredo Neves (Confins-MG). A partir desse ano, observa-se o crescimento acelerado do número de passageiros no aeroporto em questão (Figura 5.9), resultando em aumento da vazão de esgotos (Figura 5.8).

A estatística descritiva dos dados, bem como o gráfico *box-plot* com percentis, estão apresentados respectivamente, na Tabela 5.4 e na Figura 5.10, a seguir.

**Tabela 5.4** - Estatísticas descritivas das vazões afluentes à ETE Confins (em L/s), dados de 1994 a 2010.

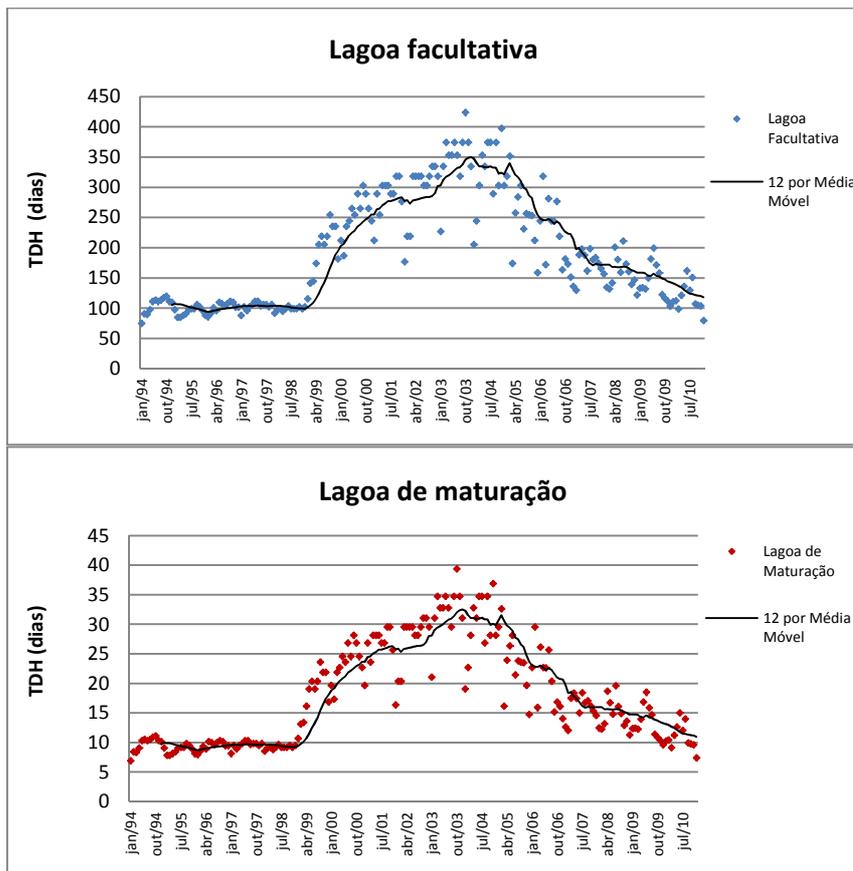
<b>VAZÃO</b>	
Núm dados	204
Mínimo	1,5
Máximo	8,5
Coef. Var	0,45
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>	
Média	4,1
Mediana	3,7
Média geométrica	3,7
<b>DISPERSÃO</b>	
Desvio padrão	1,8
Méd - 1 desvpad	2,3
Méd + 1 desvpad	5,9
<b>PERCENTIS</b>	
10%	2,0
25%	2,4
50%	3,7
75%	5,9
90%	6,5



**Figura 5.10** - Gráfico *box-plot* da vazão afluyente à ETE Confins (dados de 1994 a 2010).

Considerando os dados de movimentação de passageiros e a vazão média de cada mês, a geração diária média de esgoto por passageiro (L/pax.d) foi de 58,5 L/pax.d, bem superior à faixa típica citada por Metcalf e Eddy (2003), de 11-19 L/pax.d. É importante destacar que as grandes vazões registradas antes de 2005, quando o movimento de passageiros era baixo, tem grande influência nesse valor (no sentido de elevá-lo), entretanto, mesmo considerando os dados somente após 2005, a média de geração de efluente diária por passageiro ainda é elevada (26 L/pax.d). Importante comentar que a geração de efluentes pela população fixa do aeroporto está contabilizada na vazão total.

Obviamente, o tempo de detenção hidráulica (TDH) teórico das lagoas variou inversamente com a vazão. A Figura 5.11 apresenta a série temporal, com média móvel de 12 meses, para o TDH nas lagoas. As lagoas sempre operaram com a mesma profundidade.

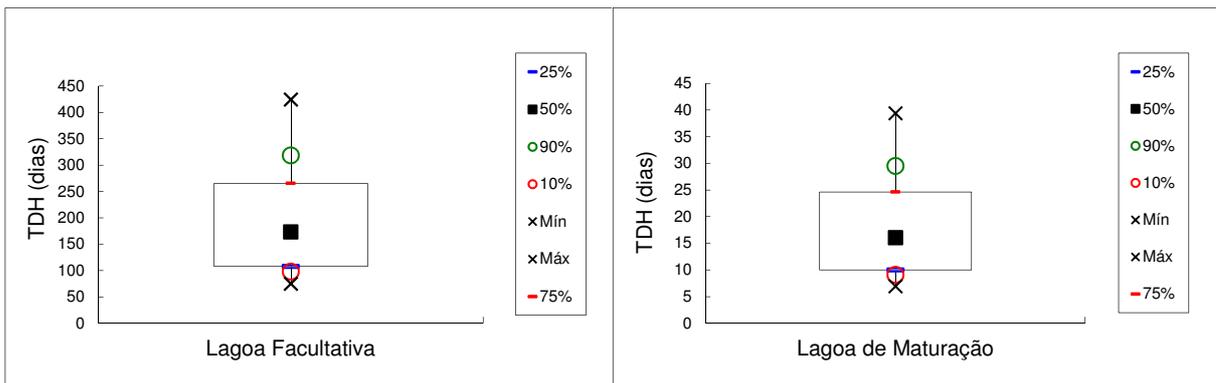


**Figura 5.11** - Série temporal do tempo de detenção hidráulica das lagoas da ETE Confins, com média móvel anual.

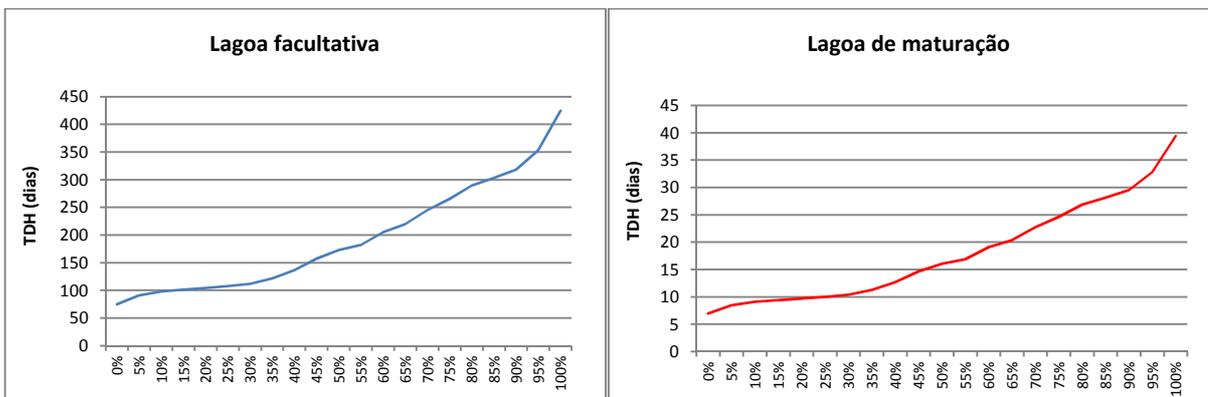
A estatística descritiva dos dados, bem como o gráfico *box-plot* com percentis e os gráficos de distribuição de frequências acumuladas, estão apresentados abaixo (Tabela 5.5, Figura 5.12 e Figura 5.13, respectivamente):

**Tabela 5.5** - Estatísticas descritivas – TDH (dias) teórico das lagoas da ETE Confins.

<b>TDH</b>		
	<b>LAGOA FACULTATIVA</b>	<b>LAGOA DE MATURAÇÃO</b>
<b>Núm dados</b>	<b>204</b>	<b>204</b>
<b>Mínimo</b>	75	7
<b>Máximo</b>	424	39
<b>Coef. Var</b>	0,47	0,47
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>		
<b>Média</b>	193	18
<b>Mediana</b>	173	16
<b>Média geométrica</b>	172	16
<b>DISPERSÃO</b>		
<b>Desvio padrão</b>	91	8
<b>Méd - 1 desvpad</b>	102	9
<b>Méd + 1 desvpad</b>	284	26
<b>PERCENTIS</b>		
<b>10%</b>	98	9
<b>25%</b>	108	10
<b>50%</b>	173	16
<b>75%</b>	265	25
<b>90%</b>	318	30



**Figura 5.12** - Gráficos *box-plot* do TDH teórico nas lagoas da ETE Confins.



**Figura 5.13** – TDH - Distribuição de frequências acumuladas – lagoa facultativa e lagoa de maturação da ETE Confins.

Em projetos de lagoas, o TDH é função do formato das unidades e da eficiência requerida (VON SPERLING, 2002).

Apesar de não ser parâmetro direto de projeto, deve-se verificar se o TDH da lagoa é suficiente para oxidação da matéria orgânica. Segundo von Sperling (2002) e Jordão e Pessôa (2011), o TDH requerido em lagoas facultativas depende de fatores climáticos. Uma faixa usual citada pelos autores é de 15 a 45 dias, para lagoas facultativas primárias. Considerando que o valor mínimo de TDH apresentado pela lagoa facultativa do presente estudo foi de 75 dias e o médio de 193 dias, nota-se que a unidade sempre operou com grande folga quanto a esse quesito.

Para lagoas de maturação, Jordão e Pessôa (2011) apontam o valor mínimo a ser mantido de 3 dias em cada unidade, para evitar varrimento de algas. O TDH mínimo apresentado na lagoa de maturação foi de 7 dias e o médio foi de 18 dias, também indicando que a unidade operou 100% do tempo com TDH superiores ao mínimo.

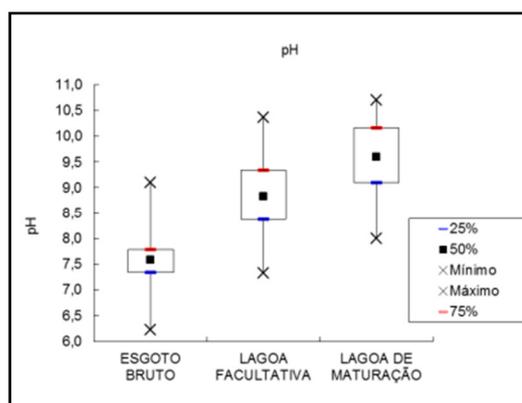
#### **5.1.4 pH e Alcalinidade**

O pH dos esgotos brutos domésticos geralmente se situa na faixa de 6,7 a 8,0 (VON SPERLING, 2005a). Em um sistema de lagoas, o pH tende a aumentar ao longo do tratamento, devido à atividade das microalgas; que realizam fotossíntese, consumindo o gás carbônico presente no meio e, conseqüentemente, aumentando o pH. Tal aumento ocorre notadamente nas lagoas de maturação, normalmente concebidas com menores profundidades, fomentando ainda mais as atividades das algas, já que a penetração de luz ocorre em maior parcela ou em toda a profundidade da lagoa.

A Tabela 5.6 fornece a estatística descritiva do pH ao longo do período de análise, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação. A Figura 5.14 ilustra algumas dessas informações por meio de gráfico *box-plot*, de forma a facilitar a visualização e interpretação dos dados.

**Tabela 5.6** - Estatísticas descritivas do pH, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

	pH		
	ESGOTO BRUTO	FACULTATIVA	MATURAÇÃO
<b>Núm dados</b>	<b>179</b>	<b>104</b>	<b>135</b>
<b>Mínimo</b>	6,2	7,3	8,0
<b>Máximo</b>	9,1	10,4	10,7
<b>Coef. Var</b>	0,06	0,07	0,07
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	7,6	8,8	9,6
<b>Mediana</b>	7,6	8,8	9,6
<b>Média geométrica</b>	7,4	8,8	9,5
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	0,4	0,6	0,7
<b>Méd - 1 desvpad</b>	7,2	8,2	8,9
<b>Méd + 1 desvpad</b>	8,0	9,5	10,3
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	7,2	8,0	8,6
<b>25%</b>	7,3	8,4	9,1
<b>50%</b>	7,6	8,8	9,6
<b>75%</b>	7,8	9,3	10,2
<b>90%</b>	8,1	9,6	10,4



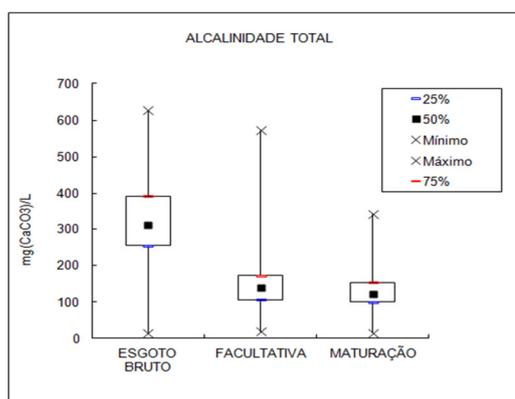
**Figura 5.14** - Gráfico *box-plot* do pH ao longo do tratamento – ETE Confins.

A partir do exposto, pode-se observar que o pH do esgoto bruto do aeroporto situou-se dentro da faixa esperada para esgotos brutos domésticos. Ademais, houve considerável aumento do pH ao longo do tratamento (15% na lagoa facultativa e 9% na lagoa de maturação em relação aos valores médios). O pH nas lagoas irá interferir principalmente na remoção de nitrogênio e fósforo nas lagoas, situações que serão discutidas posteriormente.

Para a alcalinidade total, em  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ , a estatística descritiva dos dados e o gráfico *box-plot* estão apresentados abaixo (Tabela 5.7 e Figura 5.15).

**Tabela 5.7** - Estatísticas descritivas da alcalinidade do esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

<b>ALCALINIDADE</b>			
	<b>ESGOTO BRUTO</b>	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>
<b>Núm dados</b>	<b>155</b>	<b>118</b>	<b>118</b>
<b>Mínimo</b>	<b>15</b>	<b>18</b>	<b>16</b>
<b>Máximo</b>	<b>627</b>	<b>572</b>	<b>342</b>
<b>Coef. Var</b>	<b>0,41</b>	<b>0,45</b>	<b>0,38</b>
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	318	141	127
<b>Mediana</b>	<b>310</b>	<b>140</b>	<b>122</b>
<b>Média geométrica</b>	<b>252</b>	<b>126</b>	<b>115</b>
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	130	64	48
<b>Méd - 1 desvpad</b>	188	77	79
<b>Méd + 1 desvpad</b>	448	205	175
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	<b>162</b>	<b>75</b>	<b>80</b>
<b>25%</b>	<b>255</b>	<b>106</b>	<b>100</b>
<b>50%</b>	<b>310</b>	<b>140</b>	<b>122</b>
<b>75%</b>	<b>393</b>	<b>172</b>	<b>154</b>
<b>90%</b>	<b>500</b>	<b>191</b>	<b>180</b>



**Figura 5.15** - Gráfico *box-plot* da alcalinidade ( $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ ) ao longo do tratamento – ETE Confins.

A alcalinidade média do esgoto bruto foi de  $318 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$  (mediana de  $310 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ ), com percentis de 10 e 90% de, respectivamente, 162 e  $500 \text{ mg(CaCO}_3)/\text{L}$ . A média encontrada foi superior ao limite máximo da faixa típica relatada por von Sperling (2005) para esgotos brutos domésticos, de 100 a  $250 \text{ mgCaCO}_3/\text{L}$ . Houve maior redução da alcalinidade na lagoa facultativa.

Provavelmente, os valores de alcalinidade superiores à faixa usual são explicados pela maior dureza da água subterrânea na região do aeroporto (região cárstica), sendo que a água

distribuída no aeroporto é oriunda de um sistema de captação em manancial subterrâneo. Nesse sentido, quanto maior o consumo de água, maior será a alcalinidade do esgoto bruto.

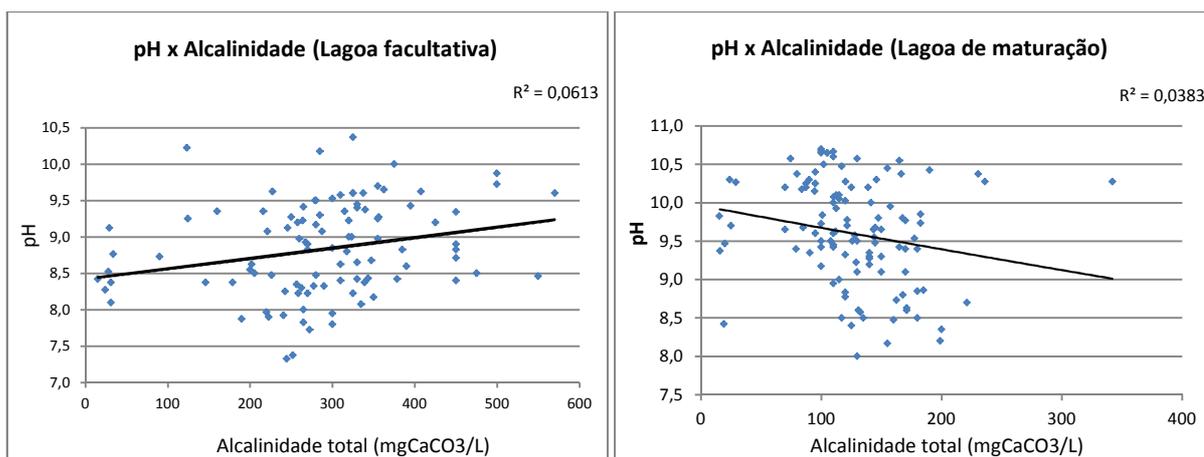
Von Sperling (2002) aponta uma relação, já citada em literatura, para estimativa do pH em lagoas baseado na alcalinidade do esgoto afluente a unidade (Equação 5.1):

$$pH = 7,3e^{(0,0005 \times alc)} \quad (5.1)$$

onde *alc* = alcalinidade do esgoto afluente (mgCaCO<sub>3</sub>/L).

De acordo com a Equação 5.1 e os valores médios de alcalinidade apontados na Tabela 5.7, o pH esperado para a lagoa facultativa seria de 8,6, bem próximo ao valor encontrado, de 8,8. O mesmo não ocorre quando da aplicação da Equação 5.1 para verificação do pH na lagoa de maturação, baseado na alcalinidade do afluente a unidade (efluente da facultativa). Nesse caso, o valor de pH esperado seria de 7,8, contra o pH de 9,6 observado. Isto possivelmente ocorre devido ao fato de que, após a lagoa facultativa, a natureza do fluido muda completamente, invalidando o uso da Equação 5.1 (que resultou em boa aderência com o esgoto bruto).

Ao se plotar os pares 'pH x alcalinidade afluente' em um gráfico de dispersão, para a lagoa facultativa e lagoa de maturação, não foram observadas boas correlações entre os valores (Figura 5.16):



**Figura 5.16** - Gráficos de dispersão 'pH x Alcalinidade' para a lagoa facultativa e lagoa de maturação – ETE Confins.

Os valores de do R<sup>2</sup> em ambos os casos (ajuste exponencial) foram muito baixos, não permitindo qualquer associação matemática representativa entre as variáveis. A despeito dessa constatação, caso a Equação 5.1 fosse adaptada à lagoa facultativa (onde se observou uma tendência positiva), obter-se-ia a Equação 5.2, para predição do pH na unidade.

$$pH = 8,4e^{(0,0002x_{calc})} \quad (5.2)$$

### 5.1.5 Temperatura

Por se tratar de mecanismos de remoção essencialmente biológicos, a temperatura do fluido nas lagoas irá influenciar diretamente a eficiência do sistema, principalmente a remoção de matéria orgânica, nutrientes e coliformes.

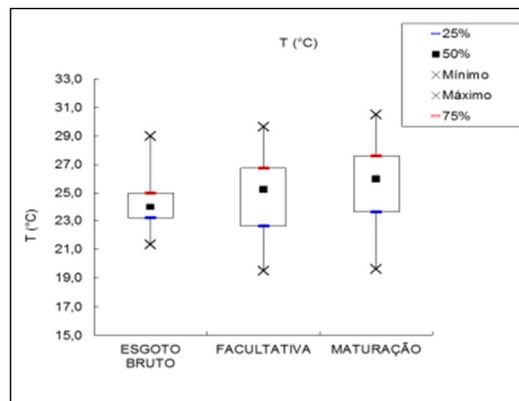
A Tabela 5.8 fornece a estatística descritiva da temperatura do ar na área da ETE, no esgoto bruto e nos efluentes das lagoas facultativa e de maturação.

**Tabela 5.8** - Estatísticas descritivas da temperatura (°C) do ar, esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

	TEMPERATURA (°C)			
	AR	ESGOTO BRUTO	FACULTATIVA	MATURAÇÃO
<b>Núm dados</b>	<b>178</b>	<b>180</b>	<b>102</b>	<b>137</b>
<b>Mínimo</b>	18	21	20	20
<b>Máximo</b>	29	29	30	31
<b>Coef. Var</b>	0,09	0,05	0,10	0,10
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>				
<b>Média</b>	24,9	24,0	24,7	25,6
<b>Mediana</b>	25,1	24,0	25,3	26,0
<b>Média geométrica</b>	24,9	23,9	24,6	25,5
<b>DISPERSÃO</b>				
<b>Desvio padrão</b>	2,1	1,2	2,5	2,5
<b>Méd - 1 desvpad</b>	22,8	22,8	22,2	23,1
<b>Méd + 1 desvpad</b>	27,0	25,3	27,3	28,1
<b>PERCENTIS</b>				
<b>10%</b>	22,0	22,2	20,8	22,0
<b>25%</b>	23,2	23,2	22,7	23,6
<b>50%</b>	25,1	24,0	25,3	26,0
<b>75%</b>	26,5	25,0	26,8	27,6
<b>90%</b>	27,5	25,3	27,5	28,5

A Tabela 5.8 sugere ligeiro aumento da temperatura ao longo do tratamento, possivelmente devido ao tempo de exposição do fluido aos raios solares, que é maior na lagoa de maturação, já que é a última unidade do sistema. Nas seções posteriores, e quando pertinente, serão

discutidas as possíveis influências dessa variável na remoção de alguns constituintes. A Figura 5.17 apresenta os gráficos *box-plot* com os valores dos percentis ao longo do tratamento.



**Figura 5.17** - Gráfico *box-plot* da temperatura (°C) ao longo do tratamento – ETE Confins.

Com os dados de temperatura do ar e temperatura do fluido nas lagoas, foi possível obter um ajuste entre essas variáveis. Brito (1997) e Rios (2007), trabalhando com lagoas de polimento em Minas Gerais, respectivamente em Itabira e Viçosa, obtiveram as Equações 5.3 e 5.4.

$$T_{\text{água}} = 10,7 + 0,55T_{\text{ar}} \quad R^2 = 0,43 \quad (\text{BRITO, 1997}) \quad (5.3)$$

$$T_{\text{água}} = 8,17 + 0,73T_{\text{ar}} \quad R^2 = 0,79 \quad (\text{RIOS, 2007}) \quad (5.4)$$

Yanes (1993) menciona equações obtidas em outras cidades:

$$T_{\text{água}} = 10,9 + 0,61T_{\text{ar}} \quad R^2 = 0,74 \quad (\text{Campina Grande - PB}) \quad (5.5)$$

$$T_{\text{água}} = 9,3 + 0,78T_{\text{ar}} \quad R^2 = 0,83 \quad (\text{Lima, Peru}) \quad (5.6)$$

$$T_{\text{água}} = 3,7 + 1,137T_{\text{ar}} \quad R^2 = 0,97 \quad (\text{Mellipilla, Chile}) \quad (5.7)$$

$$T_{\text{água}} = 2,7 + 0,945T_{\text{ar}} \quad R^2 = 0,98 \quad (\text{Amman, Jordânia}) \quad (5.8)$$

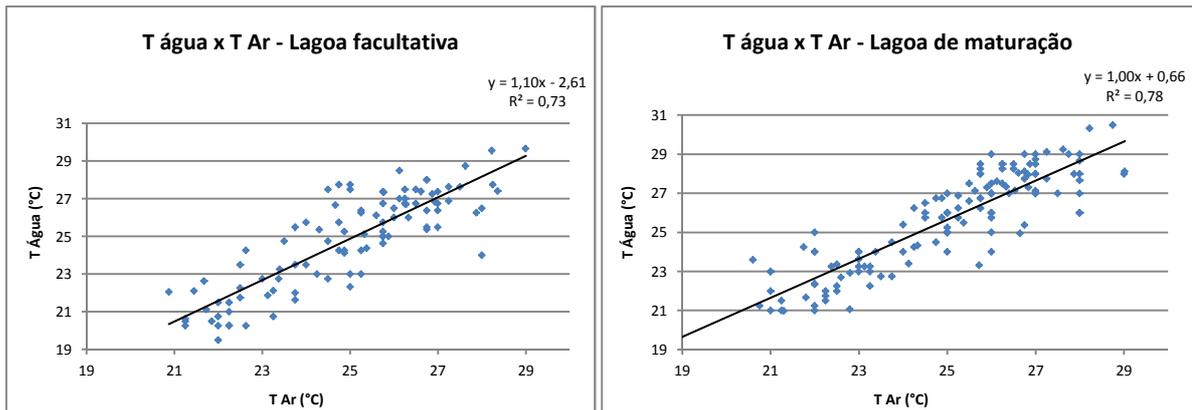
Os ajustes realizados com os dados das lagoas da presente pesquisa resultou nas Equações 5.9 e 5.10, apresentadas abaixo. Os dados, com as retas de ajuste, estão apresentados na Figura 5.18.

Lagoa facultativa:

$$T_{\text{água}} = -2,61 + 1,10T_{\text{ar}} \quad R^2 = 0,73 \quad (5.9)$$

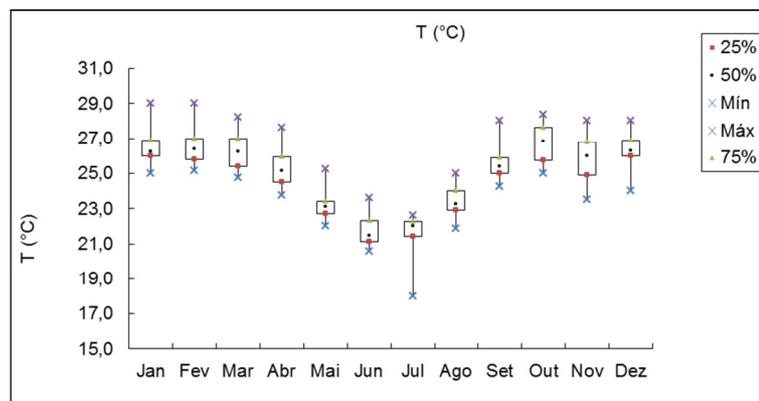
Lagoa de maturação:

$$T_{\text{água}} = 0,66 + 1,00T_{\text{ar}} \quad R^2 = 0,78 \quad (5.10)$$



**Figura 5.18** - Ajustes de regressão linear para os dados de 'Temperatura da Água x Temperatura do Ar' na lagoa facultativa e na lagoa de maturação – ETE Confins.

Ao longo do ano, a temperatura do ar na ETE (Figura 5.19) manteve o mesmo comportamento da variação apresentada para a plataforma do AITN (já apresentado na Figura 5.5), caracterizando o clima da área como de duas estações bem definidas em termos de temperatura (menores temperaturas de maio a agosto), com inverno moderado (média dos meses de julho, agosto e setembro igual a 23,5 °C).



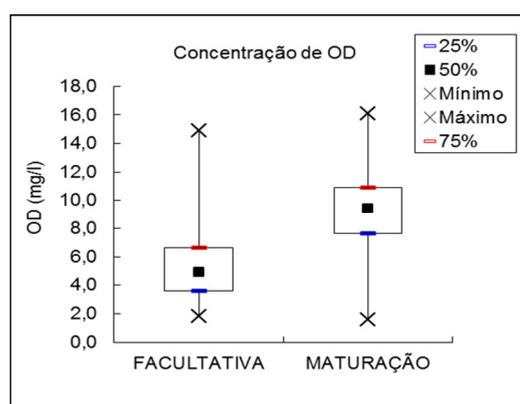
**Figura 5.19** - Gráficos *box-plot* com os valores de percentis da temperatura em cada mês do ano – ETE Confins.

### 5.1.6 Oxigênio dissolvido

A Tabela 5.9 fornece a estatística descritiva das concentrações de oxigênio dissolvido (OD) ao longo do período de análise, para o efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação. O OD do esgoto bruto não era monitorado. A Figura 5.20 ilustra algumas dessas informações por meio de gráfico *box-plot*.

**Tabela 5.9** - Estatísticas descritivas das concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L), para o efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

OXIGÊNIO DISSOLVIDO		
	FACULTATIVA	MATURAÇÃO
<b>Núm dados</b>	<b>421</b>	<b>383</b>
<b>Mínimo</b>	1,8	1,6
<b>Máximo</b>	14,9	16,1
<b>Coef. Var</b>	0,44	0,30
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>		
<b>Média</b>	5,3	9,1
<b>Mediana</b>	4,9	9,4
<b>Média geométrica</b>	4,8	8,6
<b>DISPERSÃO</b>		
<b>Desvio padrão</b>	2,3	2,7
<b>Méd - 1 desvpad</b>	3,0	6,4
<b>Méd + 1 desvpad</b>	7,6	11,8
<b>PERCENTIS</b>		
<b>10%</b>	2,8	5,2
<b>25%</b>	3,6	7,7
<b>50%</b>	4,9	9,4
<b>75%</b>	6,6	10,9
<b>90%</b>	8,6	12,2



**Figura 5.20** - Gráfico *box-plot* das concentrações de OD ao longo do tratamento – ETE Confins.

Em lagoas de estabilização, o oxigênio dissolvido é preponderantemente oriundo da atividade fotossintética das microalgas, sendo uma menor parcela devido à reaeração atmosférica na

superfície. Portanto, é de se esperar que, quanto menor a profundidade da unidade, maiores os teores de oxigênio dissolvido esperados (maior penetração de luz na coluna líquida).

Tal comportamento também foi observado no presente estudo, quando se tem um incremento do OD na lagoa de maturação (mais rasa), passando de 5,3 mg/L (média da lagoa facultativa) para 9,1 mg/L (média da lagoa de maturação), sugerindo atividade fotossintética mais intensa na segunda unidade. De fato, a observação visual é suficiente para comprovar a coloração bastante esverdeada da lagoa de maturação (Figuras 5.21 e 5.22), se comparada com a apresentada pela lagoa facultativa.



**Figura 5.21** – Vista da lagoa de maturação da ETE Confins, demonstrando coloração bastante esverdeada.



**Figura 5.22** - Efluente da lagoa de maturação da ETE Confins, demonstrando coloração bastante esverdeada do efluente.

Importante observar também que o esgoto bruto geralmente apresenta teores de OD praticamente nulos, o que indica boa produção de algas também na lagoa facultativa, elevando a concentração de OD para 5,3 mg/L nesta unidade.

### **5.1.7 Sólidos**

Apresentam-se, neste tópico, os resultados referentes aos sólidos presentes no esgoto: sólidos em suspensão totais (SST), sólidos em suspensão voláteis (SSV), sólidos em suspensão fixos (SSF) e sólidos sedimentáveis (SSed), bem como a relação SSV/SST.

Serão apresentados, nas tabelas 5.10 a 5.13 e figuras 5.23 a 5.25 abaixo:

- Estatística descritiva das concentrações dos sólidos (SST, SSV, SSF, Ssed) e relação SSV/SST ao longo do período de análise, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação, com gráficos *box-plot*.
- Variação temporal de SST (série histórica), com média móvel de 12 termos, que representa a média anual.
- Histogramas de distribuição de frequência das concentrações de SST e os gráficos de dispersão  $SST_{\text{afluente}} \times SST_{\text{efluente}}$  de cada unidade e do sistema.

**Tabela 5.10** - Estatísticas descritivas das concentrações de SST (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

	<b>SST</b>		
	<b>ESGOTO BRUTO</b>	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>
<b>Núm dados</b>	<b>187</b>	<b>131</b>	<b>151</b>
<b>Mínimo</b>	19	2	2
<b>Máximo</b>	975	286	285
<b>Coef. Var</b>	0,73	0,89	0,84
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	201	52	46
<b>Mediana</b>	163	39	37
<b>Média geométrica</b>	134	37	34
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	147	46	39
<b>Méd - 1 desvpad</b>	54	6	7
<b>Méd + 1 desvpad</b>	348	98	85
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	58	14	10
<b>25%</b>	98	20	21
<b>50%</b>	163	39	37
<b>75%</b>	281	68	58
<b>90%</b>	394	104	93

**Tabela 5.11** - Estatísticas descritivas das concentrações de SSV (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

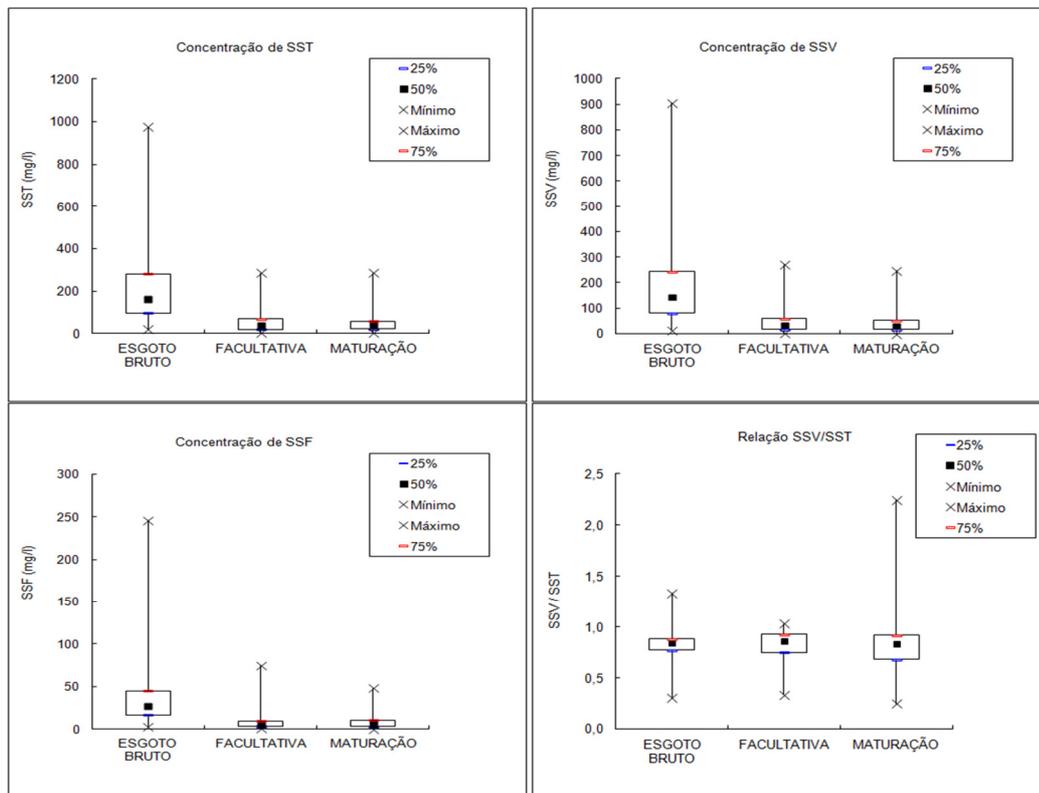
	<b>SSV</b>		
	<b>ESGOTO BRUTO</b>	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>
<b>Núm dados</b>	<b>172</b>	<b>116</b>	<b>138</b>
<b>Mínimo</b>	13	2	1
<b>Máximo</b>	907	271	246
<b>Coef. Var</b>	0,76	0,93	0,90
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	174	46	40
<b>Mediana</b>	146	36	31
<b>Média geométrica</b>	114	32	27
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	132	43	36
<b>Méd - 1 desvpad</b>	41	3	4
<b>Méd + 1 desvpad</b>	306	90	76
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	44	10	8
<b>25%</b>	80	18	16
<b>50%</b>	146	36	31
<b>75%</b>	243	61	53
<b>90%</b>	333	86	82

**Tabela 5.12** - Estatísticas descritivas das concentrações de SSF (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

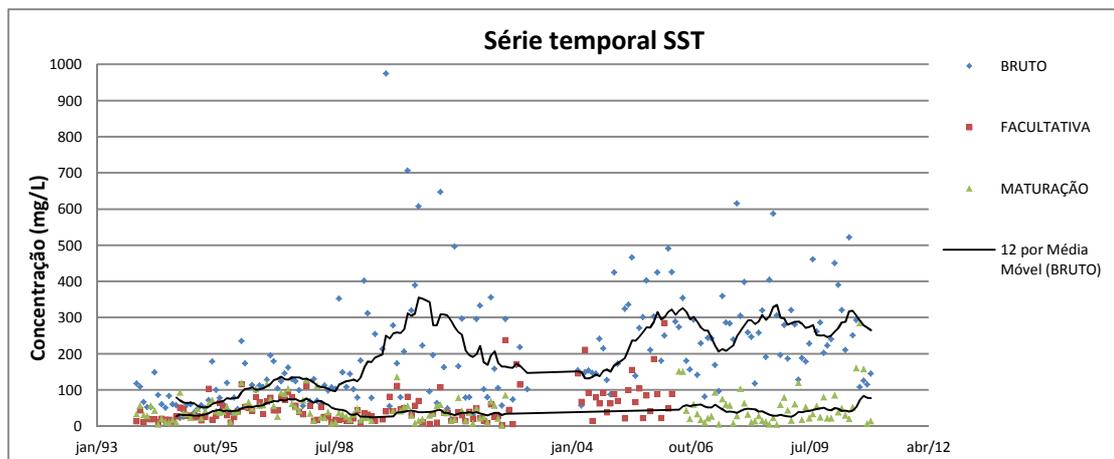
	<b>SSF</b>		
	<b>ESGOTO BRUTO</b>	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>
<b>Núm dados</b>	<b>172</b>	<b>116</b>	<b>138</b>
<b>Mínimo</b>	3	1	0
<b>Máximo</b>	246	75	48
<b>Coef. Var</b>	0,90	1,08	0,93
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	36	8	8
<b>Mediana</b>	27	6	6
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	32	8	8
<b>Méd - 1 desvpad</b>	4	-1	1
<b>Méd + 1 desvpad</b>	68	16	16
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	10	2	2
<b>25%</b>	16	3	3
<b>50%</b>	27	6	6
<b>75%</b>	45	9	10
<b>90%</b>	69	15	17

**Tabela 5.13** - Estatísticas descritivas das relações SSV/SST, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

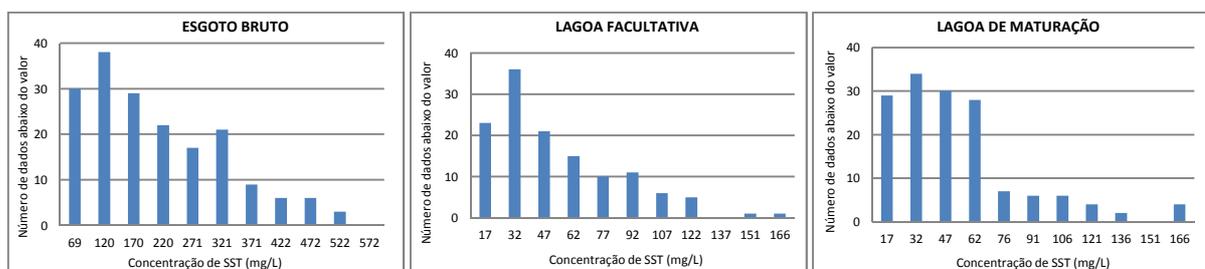
	<b>SSV/SST</b>		
	<b>ESGOTO BRUTO</b>	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>
<b>Núm dados</b>	<b>172</b>	<b>116</b>	<b>138</b>
<b>Mínimo</b>	0,31	0,33	0,25
<b>Máximo</b>	1,34	1,03	2,25
<b>Coef. Var</b>	0,15	0,17	0,27
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	0,82	0,82	0,79
<b>Mediana</b>	0,84	0,86	0,84
<b>Média geométrica</b>	0,80	0,81	0,76
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	0,12	0,14	0,21
<b>Méd - 1 desvpad</b>	0,69	0,68	0,58
<b>Méd + 1 desvpad</b>	0,94	0,96	1,00
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	0,69	0,65	0,54
<b>25%</b>	0,77	0,75	0,69
<b>50%</b>	0,84	0,86	0,84
<b>75%</b>	0,88	0,93	0,92
<b>90%</b>	0,92	0,95	0,95



**Figura 5.23** - Gráfico *box-plot* das concentrações de SST, SSV, SSF e relação SSV/SST ao longo do tratamento – ETE Confins.

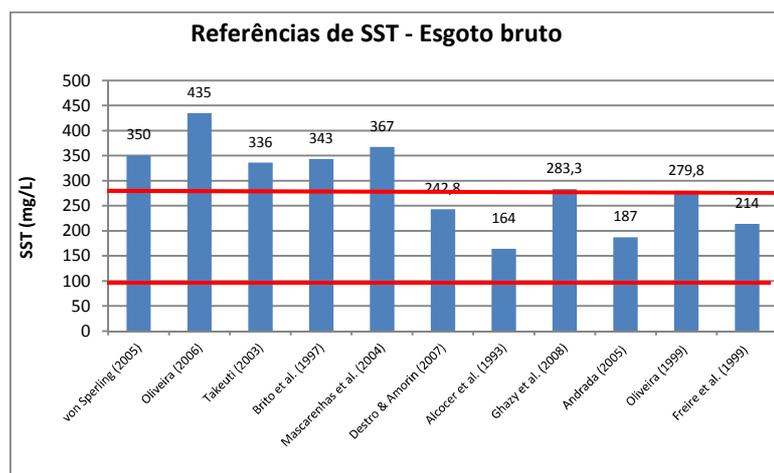


**Figura 5.24** - Série temporal da concentração de SST, com média móvel anual para o afluente e efluente do sistema – ETE Confins.



**Figura 5.25** - Histogramas de distribuição de frequência das concentrações de SST – ETE Confins.

De acordo com a tabela 5.10, o esgoto bruto apresentou concentração média de 201 mgSST/L e mediana de 163 mgSST/L; valores consideravelmente inferiores ao valor médio de referência para esgotos domésticos apontados por von Sperling (2005), de 350 mg/L. Ao se comparar os percentis 25% (linha vermelha inferior) e 75% (linha vermelha superior) com outros valores médios reportados na literatura, também para esgotos brutos domésticos, pode-se sugerir que trata-se de um efluente com baixos teores de sólidos em suspensão já que os valores de literatura se situam próximos e até superiores ao percentil 75% (Figura 5.26),



**Figura 5.26** - Comparação dos percentis 25 e 75% da concentração de SST do esgoto bruto da presente pesquisa (linhas vermelhas) com valores reportados na literatura.

Jordão e Pessôa (2011) apresentam uma tabela com valores de concentrações típicos para várias condições do esgoto sanitário (esgoto “forte”, “médio” e “fraco”). De acordo com esse critério, o efluente do aeroporto seria classificado como entre “fraco” e “médio” ( $120 \text{ mg/L} < \text{SST} < 230 \text{ mg/L}$ ). O mesmo para a classificação de Metcalf e Eddy (2003), que define como “fraco” e “médio” aqueles com concentrações de  $120 \text{ mg/L}$  e  $210 \text{ mg/L}$ .

Assim como para SST, suas frações - SSV e SSF – também apresentaram, no geral, valores médios abaixo do apontado na literatura. Von Sperling (2005a) aponta valores típicos para SSV e SSF de, respectivamente,  $320$  e  $80 \text{ mg/L}$ , aproximadamente o dobro dos valores médios relatados neste trabalho ( $174$  e  $36 \text{ mg/L}$  para SSV e SST respectivamente). A classificação de Jordão e Pessôa (2011) sugere que o esgoto tem características mais próxima de um “esgoto médio” em relação a SSV e mais próximas de “esgoto fraco” em relação a SSF.

A avaliação da relação SSV/SST permite uma inferência a respeito da natureza orgânica dos sólidos suspensos. Valores típicos de esgotos brutos domésticos se situam na faixa de  $0,75$  a

0,85 (METCALF e EDDY, 1991). O valor médio para o esgoto bruto do aeroporto (0,82) se situou dentro desta faixa e foi superior aos valores encontrados por Mascarenhas (2002), de 0,71 e 0,74 em cada fase da pesquisa; por Brito (1997), de 0,33 a 0,75. Não foi observada alteração significativa dessa relação ao longo do tratamento.

Devido ao complexo balanço entre produção de algas nas lagoas e remoção dos sólidos, torna-se difícil qualquer asserção segura sobre a origem dos sólidos e/ou eficiências de remoção no sistema. Tal balanço provoca uma maior variabilidade dos dados, que é também percebida ao se comparar os coeficientes de variação de SST com os de DBO e DQO (maiores valores para SST).

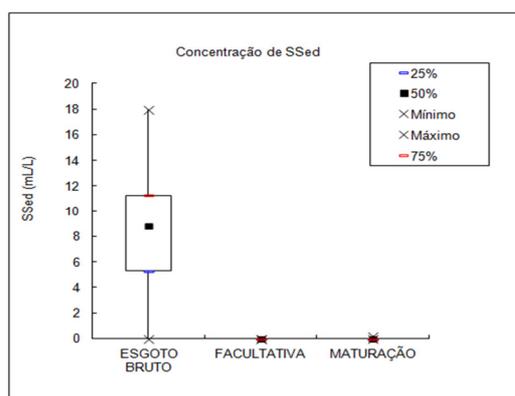
Em relação à distribuição de frequências, os histogramas da Figura 5.25 sugerem distribuições assimétricas positivas para os dados, de forma semelhante a que ocorreu para DBO e DQO (ver item 5.1.8).

A Tabela 5.14 e a Figura 5.27 apresentam a concentração de sólidos sedimentáveis ao longo do tratamento (em mL/L), demonstrando remoção completa na ETE. De fato, a remoção total já ocorre na lagoa facultativa.

Já que há presença de sólidos em suspensão no efluente, e destacando o fato de que as algas não sedimentam no cone Imhoff (na análise de sólidos sedimentáveis), é importante considerar que sólidos sedimentáveis não são um parâmetro adequado para se inferir sobre a presença de sólidos em efluentes de lagoas.

**Tabela 5.14** - Estatísticas descritivas das concentrações de SSed (mL/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

	SSed		
	ESGOTO BRUTO	FACULTATIVA	MATURAÇÃO
Núm dados	177	100	137
Mínimo	0,0	0,0	0,0
Máximo	18,0	0,0	0,0
Coef. Var	0,43	-	3,35
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
Média	8,7	0,0	0,0
Mediana	8,8	0,0	0,0
<b>DISPERSÃO</b>			
Desvio padrão	3,7	0,0	0,0
Méd - 1 desvpad	4,9	0,0	0,0
Méd + 1 desvpad	12,4	0,0	0,0
<b>PERCENTIS</b>			
10%	4,4	0,0	0,0
25%	5,3	0,0	0,0
50%	8,8	0,0	0,0
75%	11,3	0,0	0,0
90%	13,6	0,0	0,0



**Figura 5.27** - Gráfico *box-plot* das concentrações de sólidos sedimentáveis ao longo do tratamento – ETE Confins.

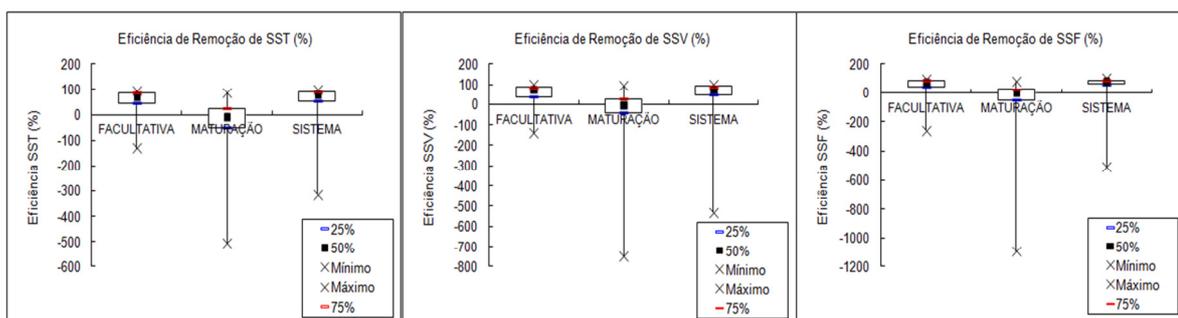
A concentração média de sólidos sedimentáveis no esgoto bruto do aeroporto (8,7 mL/L) foi inferior a faixa reportada por von Sperling (2005a), de 10-20 mL/L. Na classificação de Metcalf e Eddy (2003), tal concentração estaria entre a típica de “esgoto doméstico fraco” (5 mL/L) e a típica de “esgoto doméstico médio” (10 mL/L), mais próxima da última.

### Eficiências de remoção

A Tabela 5.15 e a Figura 5.28 (gráficos *box-plot*) apresentam, por meio de estatística descritiva, os valores de eficiência na remoção de SST, SSV e SSF para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e para o sistema.

**Tabela 5.15** - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção (%) de SST, SSV e SSF, para a lagoa facultativa (LF), lagoa de maturação (LM) e Sistema (SIST) – ETE Confins.

	SST			SSV			SSF		
	LF	LM	SIST	LF	LM	SIST	LF	LM	SIST
<b>Núm dados</b>	<b>133</b>	<b>97</b>	<b>151</b>	<b>118</b>	<b>84</b>	<b>138</b>	<b>118</b>	<b>84</b>	<b>138</b>
<b>Mínimo</b>	-129	-506	-313	-138	-750	-531	-257	-1095	-505
<b>Máximo</b>	96	86	99	98	93	100	99	82	100
<b>Coef. Var</b>	0,64	-3,10	0,77	0,73	-3,61	1,29	0,79	-3,81	0,89
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>									
<b>Média</b>	59	-31	62	56	-32	57	58	-37	64
<b>Mediana</b>	70	-7	76	72	-3	76	75	0	78
<b>DISPERSÃO</b>									
<b>Desvio padrão</b>	38	95	48	41	117	73	46	141	57
<b>Méd - 1 desvpad</b>	21	-125	14	15	-150	-16	12,2	-178	7
<b>Méd + 1 desvpad</b>	97	64	109	97	85	129	104	104	121
<b>PERCENTIS</b>									
<b>10%</b>	13	-115	15	5	-109	11	15	-122	24
<b>25%</b>	44	-52	52	37	-41	46	43	-50	60
<b>50%</b>	70	-7	76	72	-3	76	75	0	78
<b>75%</b>	85	23	89	86	25	90	87	24	87
<b>90%</b>	91	44	94	92	44	95	92	48	94



**Figura 5.28** - Gráficos *Box-plot* das eficiências de remoção de Sólidos (SST, SSV e SSF) de cada unidade e do sistema – ETE Confins.

Em relação a lagoa facultativa, observou-se valores médios de eficiência de remoção de SST (média = 59% e mediana = 70%) inferiores à faixa citada por von Sperling (2002), de 70 a 80%. Entretanto, superiores a média de 48% relatada por Oliveira e von Sperling (2005), analisando o desempenho de 73 lagoas em Minas Gerais e São Paulo.

Para sistemas lagoa facultativa – lagoa de maturação, Gonçalves (2003) e Jordão e Pessôa (2011) apresentam a mesma faixa típica de eficiência na remoção de SST, de 70 a 80%. Portanto, a ETE em estudo apresentou desempenho (eficiência média de 62%) inferior ao esperado, de acordo com a literatura.

Apesar do exposto, é importante se levar em consideração que a eficiência de remoção de sólidos é um conceito que não se aplica bem para lagoas, pois as mesmas são produtoras de sólidos (algas), e os sólidos efluentes têm uma natureza totalmente diferente dos afluentes.

### 5.1.8 Matéria orgânica

Apresentam-se, neste tópico, os resultados referentes aos parâmetros relacionados à matéria orgânica: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a relação entre esses dois parâmetros (DQO/DBO), para o esgoto bruto e ao longo do tratamento. Também serão apresentados os dados de carga orgânica (aplicada a cada lagoa e ao efluente da ETE) e taxa de aplicação superficial (TAS).

É importante destacar que:

- Os valores de DBO se referem sempre a  $DBO_5^{20}$  (de 5 dias, 20 °C), mas serão referenciados ao longo do texto apenas como DBO.
- Tanto os valores de DBO quanto de DQO se referem a DBO ou DQO Total.

#### 5.1.8.1 DBO e DQO

São apresentados a seguir, nas tabelas 5.16 e 5.17 e figuras 5.29 a 5.31:

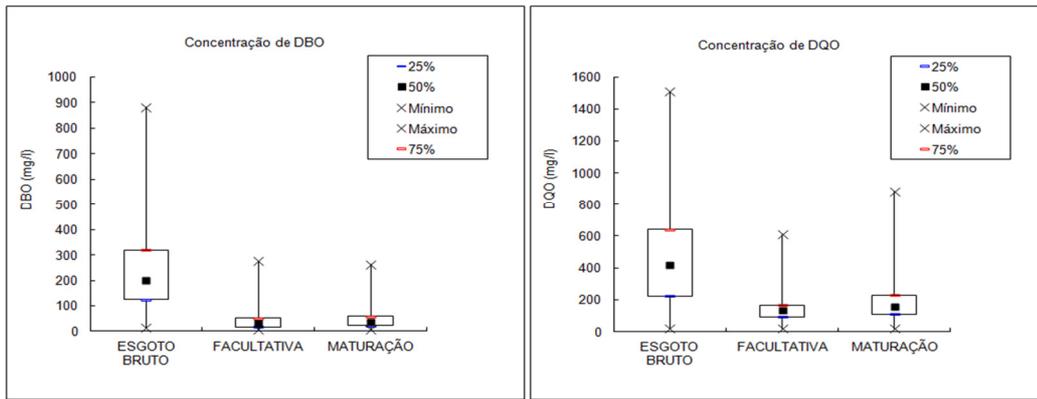
- Estatística descritiva das concentrações de DBO e DQO ao longo do período de análise, para o esgoto bruto e efluentes da lagoa facultativa e de maturação, com gráficos *box-plot* ilustrando alguns desses dados.
- Variação temporal da concentração desses dois parâmetros (séries históricas).
- Histogramas de distribuição de frequência das concentrações e os gráficos de dispersão  $DBO_{\text{afluente}} \times DBO_{\text{efluente}}$  de cada unidade e do sistema.

**Tabela 5.16** - Estatísticas descritivas das concentrações de DBO (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

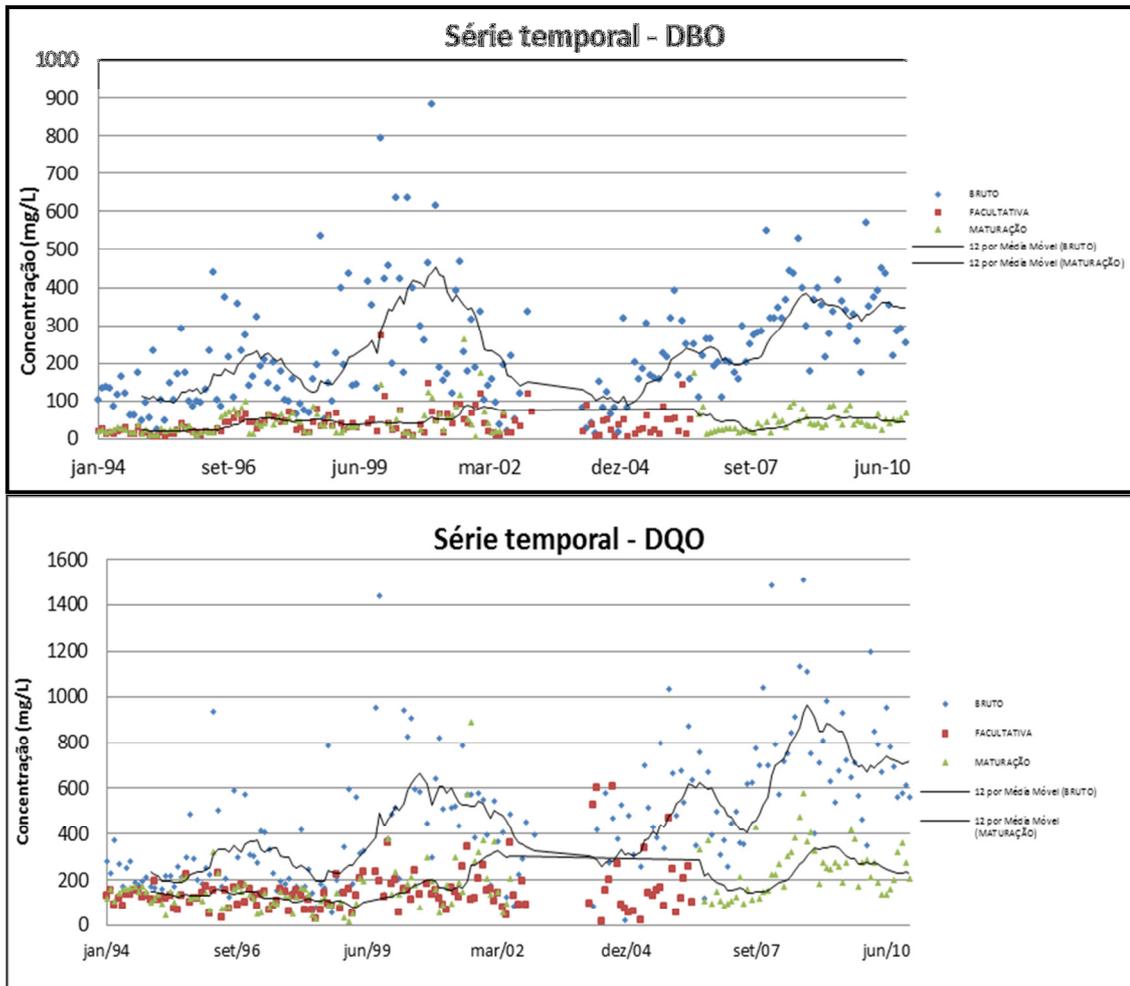
	<b>DBO</b>		
	<b>ESGOTO BRUTO</b>	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>
Núm dados	186	133	150
Mínimo	14	6	6
Máximo	882	276	263
Coef. Var	0,63	0,86	0,77
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
Média	235	41	45
Mediana	201	32	36
Média geométrica	188	31	36
<b>DISPERSÃO</b>			
Desvio padrão	148	35	35
Méd - 1 desvpad	86	6	10
Méd + 1 desvpad	383	76	80
<b>PERCENTIS</b>			
10%	81	12	15
25%	125	17	22
50%	201	32	36
75%	320	52	59
90%	424	73	86

**Tabela 5.17** - Estatísticas descritivas das concentrações de DQO (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

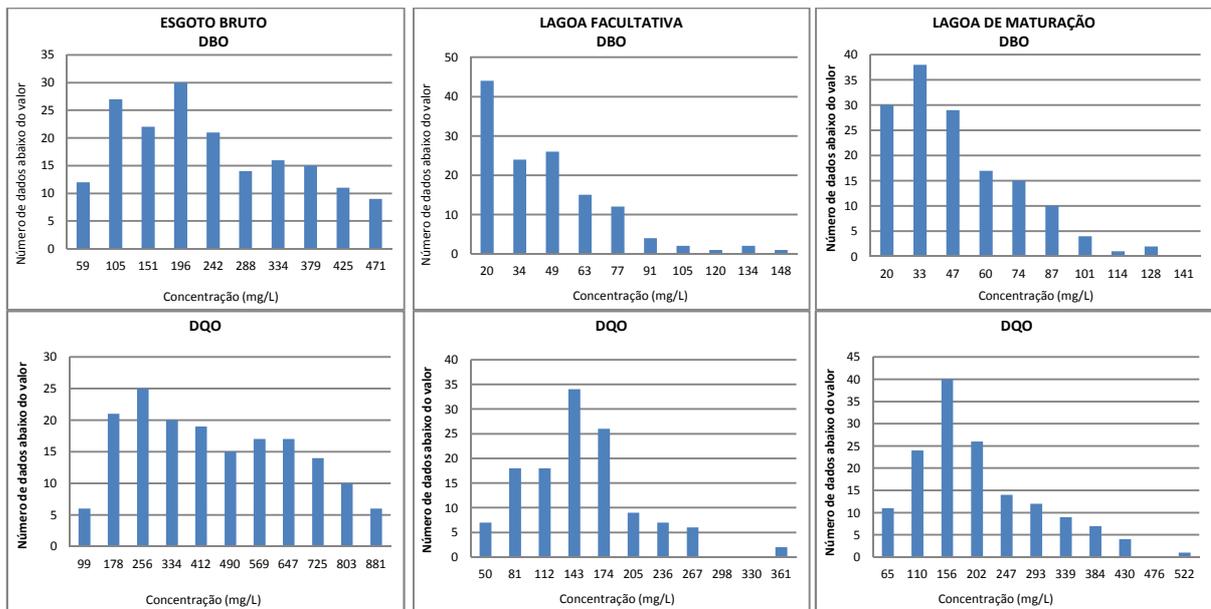
	<b>DQO</b>		
	<b>ESGOTO BRUTO</b>	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>
Núm dados	186	130	151
Mínimo	21	19	19
Máximo	1507	609	887
Coef. Var	0,61	0,64	0,63
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
Média	472	152	188
Mediana	417	133	157
Média geométrica	313	130	159
<b>DISPERSÃO</b>			
Desvio padrão	288	97	119
Méd - 1 desvpad	184	55	69
Méd + 1 desvpad	760	250	308
<b>PERCENTIS</b>			
10%	166	68	82
25%	223	93	111
50%	417	133	157
75%	641	167	229
90%	835	241	335



**Figura 5.29** - Gráficos *Box-plot* da concentração de DBO e DQO ao longo do tratamento – ETE Confins.



**Figura 5.30** - Série temporal com média móvel anual para as concentrações de DBO e DQO do esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.



**Figura 5.31** - Histogramas de distribuição de frequência das concentrações de DBO e DQO – ETE Confins.

Percebe-se, ao observar os valores de desvio padrão, máximo e mínimo Tabelas 5.16 e 5.17 e Figura 5.29 a 5.31, a grande variação dos valores de DBO e DQO do esgoto bruto. Tais valores variaram de 14 a 882 mg/L e 21 a 1507 mg/L, respectivamente.

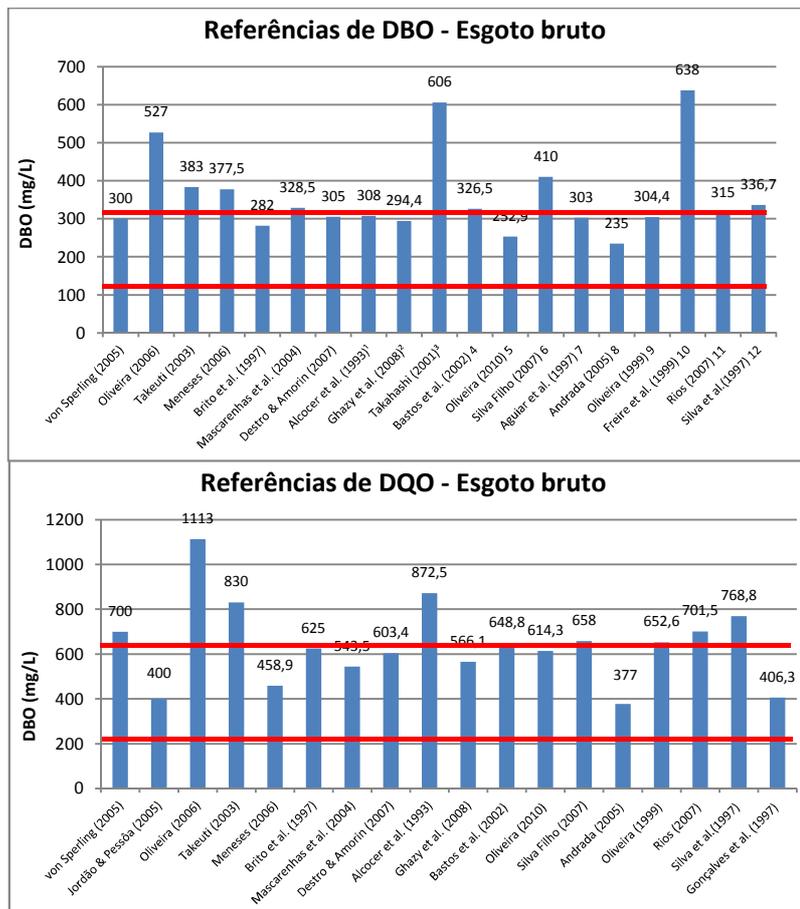
Para a DBO, ao se observar os valores contidos entre os percentis 10 e 90% (faixa de 81 a 424 mg/L), verifica-se que os mesmos se situam próximos aos limites da faixa citada por Jordão e Pessoa (2011) para esgoto doméstico bruto – entre 100 e 400 mg/L. Tal comparação é razoável, dado que os percentis de 10 e 90% abarcam uma grande quantidade dos dados.

O mesmo ocorre para DQO, cujos percentis 10 e 90% (faixa de 166 a 835 mg/L) também se situam próximos aos limites da faixa citada por Jordão e Pessoa (2011) para esgoto doméstico – entre 200 e 800 mg/L – e em uma faixa mais ampla que a citada por von Sperling (2005) – entre 450 e 800 mg/L. A curva de média móvel apresentada na Figura 5.30 sugere tendência do efluente final acompanhar essa variação, o que não ocorreu com a DBO. Os valores da média e mediana da concentração no esgoto bruto foram, respectivamente, 472 e 417 mg/L (Tabela 5.17). Tais valores estão dentro das faixas comentadas acima.

O valor médio encontrado para a concentração de DBO no esgoto bruto (235 mg/L) é um pouco inferior ao valor médio apresentado por von Sperling (2005a) - em torno de 300 mg/L. Esse valor médio também está abaixo do valor médio de DBO do esgoto afluente a 208 ETES inventariadas por Oliveira (2006), de 527 mg/L, e abaixo do valor médio relatado por

Meneses (2006), de 378 mg/L, ao analisar o esgoto afluyente a um sistema de lagoas em Natal-RN a cada 10 dias, por um período de 1 ano. Também está abaixo do valor médio relatado por Takeuti (2003) em ETE no estado de São Paulo, de 383 mg/L. Na cidade de Itabira-MG, um total de 31 amostras de esgoto bruto afluyente à ETE foram analisadas (BRITO *et al*, 1997); o valor médio (282 mg/L) foi um pouco superior ao agora relatado. Na mesma ETE, em Itabira-MG, em pesquisa posterior realizada por Mascarenhas *et al* (2004), os autores relataram valores médios de 340 e 317 mg/L. A concentração média de 235 mg/L também é inferior à concentração média - 305 mg/L - apontada por Destro e Amorim (2007) em 10 amostragem do esgoto bruto afluyente a uma ETE em Cuiabá-MT. Da mesma forma, inferior aos valores médios compilados por Polisel (2005) para o afluyente a ETEs operadas pela SABESP, na região noroeste do estado de São Paulo, compreendidos na faixa de 326 a 624 mg/L. Todas as referências acima citadas dizem respeito a esgoto doméstico.

Várias outras referências foram encontradas, com amplas faixas de variação da DBO e DQO do esgoto bruto. A Figura 5.32 ilustra uma breve comparação dos percentis 25 e 75% (linhas vermelhas) com os valores médios reportados na literatura (referências apresentadas acima e outras pesquisadas).



**Figura 5.32** - Comparação das concentrações de DBO e DQO (percentis 25 e 75%) do esgoto bruto da presente pesquisa (linhas vermelhas) com valores médios reportados na literatura.

- 1 - Esgoto doméstico afluyente a ETE em Ixtapan de la Sal - México
- 2 - Esgoto doméstico afluyente a ETE em área rural do Egito
- 3 - Esgoto predominantemente doméstico afluyente a ETE Suzano, SP
- 4 - Esgoto afluyente a ETE em Viçosa -MG
- 5 - Esgoto afluyente a ETE em João Pessoa-PB
- 6 - Média do esgoto afluyente a 78 ETEs no Rio Grande do Norte
- 7 - Média do esgoto afluyente a 5 ETEs em Vitória -ES
- 8 - Média de 21 dados de esgoto afluyente a ETE em Belo Horizonte -MG
- 9 - Média de 503 dados de esgoto afluyente a 5 ETEs em Serra -ES
- 10 - Média de 65 dados de esgoto de Belo Horizonte -MG e Contagem-MG afluyente à uma ETE piloto
- 11 - Média de 137 dados de esgoto afluyente a ETE experimental em Viçosa-MG
- 12 - Média de 803 dados de esgoto bruto afluyente a 6 ETEs em Vitória –ES

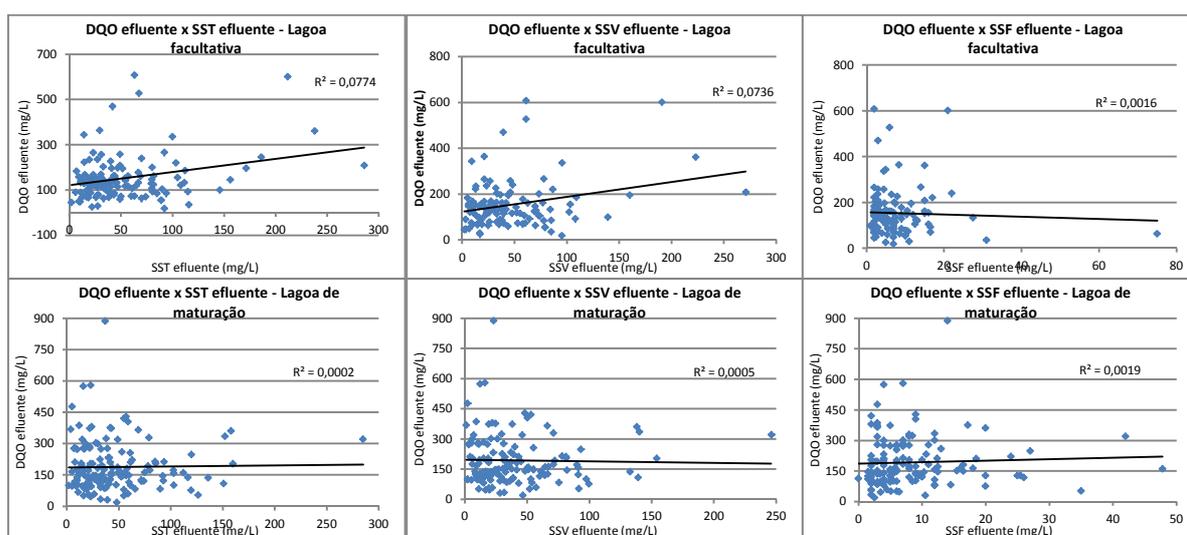
Diante do exposto, é razoável afirmar que o efluente do aeroporto apresenta uma concentração de DBO (média: 235 mg/L; mediana: 201 mg/L) e DQO (média: 472 mg/L; mediana: 417 mg/L) tendendo para característica de esgotos domésticos mais diluídos, abaixo da média relatada por vários autores. Ademais, as médias reportadas na literatura se situam próximas e até superiores ao percentil 75% da DBO e DQO do efluente do aeroporto.

O efluente da lagoa facultativa apresentou valor médio de DBO de 41 mg/L (mediana: 3 mg/L), situado dentro da faixa citada por Jordão e Pessoa (2011), de 30 a 50 mg/L, e abaixo

da faixa citada por von Sperling (2005a), de 50 a 80 mg/L. Além disso, os percentis de 10 e 90% (12 e 73 mg/L) correspondem a uma faixa de variação bem inferior a faixa apontada por Oliveira (2006) para o efluente de 77 lagoas facultativas, de 86 a 176 mg/L (percentis 10 e 90%). Em relação a DQO, o efluente da lagoa facultativa apresentou valor médio de 152 mg/L (mediana: 133 mg/L), situado dentro das faixas citadas por von Sperling (2005a), de 120 a 200 mg/L. Da mesma forma, os percentis de 10 e 90% (68 e 241 mg/L) correspondem a uma faixa de variação bem inferior a faixa registrada por Oliveira (2006), de 342 a 676 mg/L (percentis 10 e 90%), em que pese a característica de esgoto bruto mais diluído na presente pesquisa.

As tabelas 5.16 e 5.17 e a Figura 5.29 sugerem aumento na concentração de matéria orgânica na lagoa de maturação, resultando na deterioração da qualidade do esgoto tratado. Tal fato pode estar relacionado à saída de algas com o efluente, conferindo DQO e DBO ao mesmo. Entretanto, as concentrações médias de DBO e DQO do efluente final (45 e 188 mg/L, respectivamente) ainda estão dentro da faixa esperada para esse tipo de sistema (lagoa facultativa - lagoa de maturação); basta observar valores de referência para sistemas compostos por lagoa anaeróbia – lagoa facultativa – lagoa de maturação apresentados por von Sperling (2005), de 40 a 70 mg/L para DBO e 100 a 180 mg/L para DQO.

A Figura 5.33 apresenta gráficos de dispersão com os dados de DQO x sólidos (SST, SSV e SSF) do efluente da lagoa facultativa e da lagoa de maturação, de forma a possibilitar eventuais inferências acerca da natureza da DQO.



**Figura 5.33** - Gráficos de dispersão com os dados de DQO x Sólidos (SST, SSV e SSF) do efluente da lagoa facultativa e da lagoa de maturação – ETE Confinos.

Os resultados apresentados na Figura 5.33 mostram relações pouco consistentes, impossibilitando qualquer assertiva a respeito da natureza da DQO efluente das lagoas. Os maiores valores de  $R^2$  foram os obtidos nas relações DQO x SST e DQO x SSV do efluente da lagoa facultativa, de, respectivamente, 0,077 e 0,074. Para essas relações foi observada certa tendência de aumento de uma variável com o aumento da outra, o que não foi observado com os outros conjuntos de dados. O valor de  $R^2$  para DQO x SST (0,077) foi inferior aos obtidos por Mascarenhas (2002), pesquisando lagoas de polimento com e sem chicana em Itabira-MG, de 0,161 e 0,130.

Quanto à natureza da distribuição dos dados de DBO e DQO, os histogramas da Figura 5.31 sugerem distribuições assimétricas positivas para todos os conjuntos (cauda desviada para a direita). A distribuição de frequência para esgoto bruto se aproxima mais da distribuição normal (formato de sino) do que os dados do efluente da lagoa facultativa e maturação. Os últimos apresentam notadamente distribuição assimétrica positiva (cauda desviada para a direita).

#### Eficiências de remoção

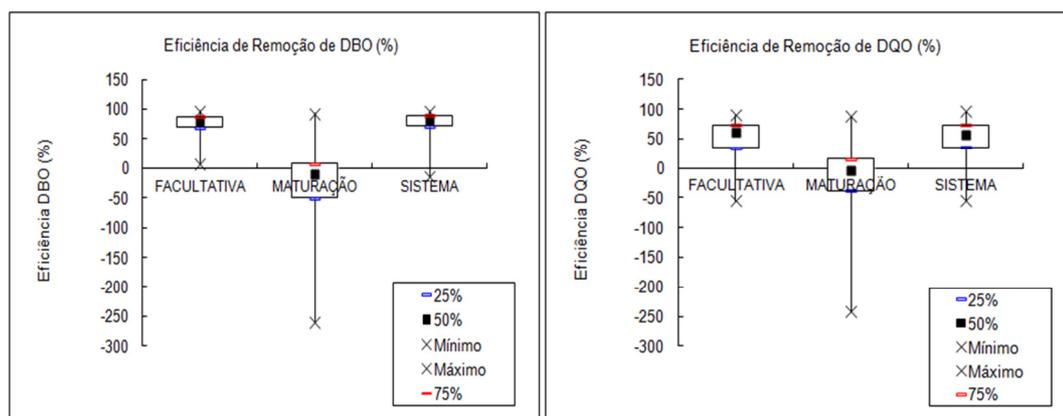
A Tabela 5.18 apresenta, por meio de estatística descritiva, os valores de eficiência de remoção de DBO e DQO para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e para o sistema. Também são apresentados gráficos *box-plot* e séries temporais (figuras 5.34 e 5.35).

Observações:

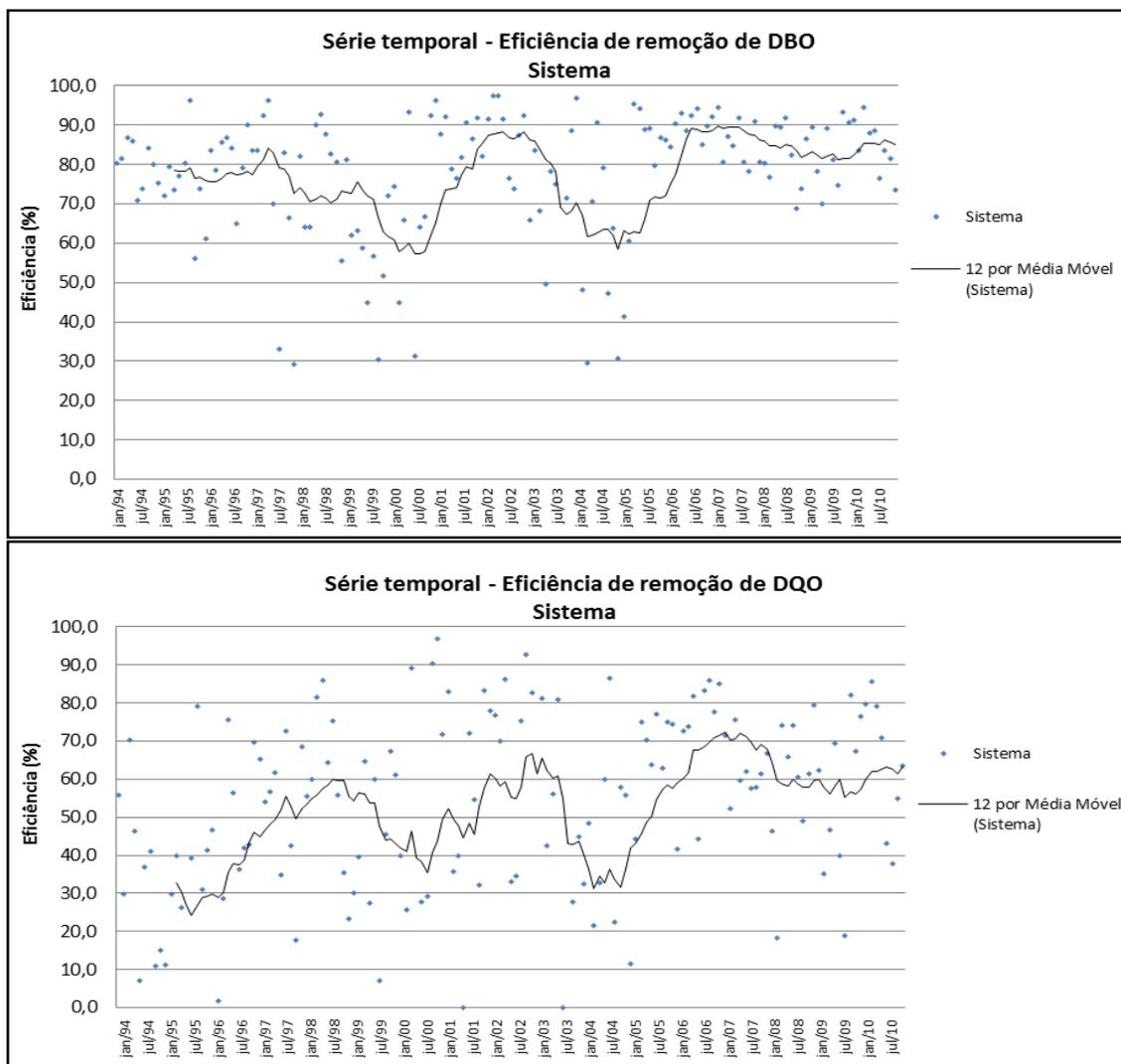
- Para DBO, foram eliminados dois valores de eficiência da lagoa facultativa, de -249% e -138% (únicos com valores negativos), destoantes do restante dos dados, que podem ser considerados como *outliers*, prejudicando a análise estatística. Apesar de grande parte dos dados de eficiência da lagoa de maturação apresentar valores negativos, um foi eliminado (-415,7%), considerado como *outlier*.
- Para DQO, também foram eliminados dois valores de eficiência da lagoa facultativa, considerados como *outliers* (-507% e -245%). Para a lagoa de maturação, foi eliminado o valor de -678%, também destoante dos demais.

**Tabela 5.18** - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de DBO e DQO (%), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins.

	DBO			DQO		
	FACULTATIVA	MATURAÇÃO	SISTEMA	FACULTATIVA	MATURAÇÃO	SISTEMA
Núm dados	130	95	150	130	96	151
Mínimo	8	-259	-15	-55	-242	-55
Máximo	97	93	98	90	88	97
Coef. Var	0,22	-2,50	0,22	0,58	-3,37	0,51
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>						
Média	77	-22	77	52	-16	52
Mediana	80	-10	82	60	-3	56
<b>DISPERSÃO</b>						
Desvio padrão	17	55	17	30	55	27
Méd - 1 desvpad	60	-77	60	22	-72	25
Méd + 1 desvpad	94	33	94	82	39	79
<b>PERCENTIS</b>						
10%	59	-89	56	11	-96	19
25%	69	-50	72	35	-38	38
50%	80	-10	82	60	-3	57
75%	88	7	89	73	16	73
90%	93	27	93	82	42	82



**Figura 5.34** - Gráficos *Box-plot* da eficiência de remoção de DBO e DQO de cada unidade e do sistema – ETE Confins.



**Figura 5.35** - Série temporal da eficiência de remoção de DBO e DQO de cada unidade e do sistema, com média móvel anual (12 termos) – ETE Confins.

Durante os anos de monitoramento, a eficiência da lagoa facultativa na remoção de DBO variou, na grande maioria dos dados, dentro da faixa de 60 a 95% (Figura 5.35). Os valores dos percentis de 10 e 90% (eficiências de respectivamente 59 e 93%), presentes na Tabela 5.18, podem ser comparados aos percentis de 10 e 90% observados por Oliveira (2006), de 65 a 84%, para 75 lagoas facultativas. Os valores de média e mediana, 77 e 80%, estão dentro da faixa reportada por von Sperling (2002) e Jordão e Pessôa (2011), de 75 a 85%. Uma investigação feita por Oliveira et al. (2004), englobando 115 lagoas facultativas (primárias e secundárias) da região sudeste do Brasil, apontou eficiência média de 74%. Tais comparações permitem presumir boa eficiência da lagoa facultativa na remoção de DBO, e dentro do esperado, de acordo com a literatura. Já em relação a DQO, os valores de média e mediana, 52 e 60%, estão abaixo do limite inferior faixa citada por von Sperling (2002) e Jordão e Pessôa (2011), de 65 a 80%; apesar do efluente da lagoa facultativa apresentar concentrações de

DQO abaixo ou dentro do esperado, a eficiência média da unidade não atingiu a faixa de referência.

Segundo Silva (2006), é possível esperar, como regra prática, média de remoção de 20% de DBO em lagoas de maturação, não excedendo 25%. Para a lagoa de maturação em estudo, eficiências negativas de remoção de DBO e DQO foram observadas em mais de 50% dos dados; a média para DBO foi de -22 % e DQO de -23 %. Eficiências negativas já foram reportadas por Silva (2006), compilando trabalhos realizados por Silva *et al.* (1996), Pearson *et al.* (1996), Oliveira *et al.* (1996), Nogueira *et al.* (1999), Araújo *et al.* (2003) e Moreira *et al.* (2003).

Mesmo não sendo dimensionada para remoção de matéria orgânica, esperava-se alguma remoção adicional na lagoa de maturação, o que não foi observado na maioria dos dados. Além disso, conforme comentado, a lagoa de maturação está contribuindo com a queda da qualidade do efluente, em termos de matéria orgânica, provavelmente devido à grande produção de algas, seguida por sua saída com o efluente (contabilizadas como DBO, DQO, SST). As figuras 5.21 e 5.22, apresentadas anteriormente, ilustram a coloração bastante esverdeada da lagoa.

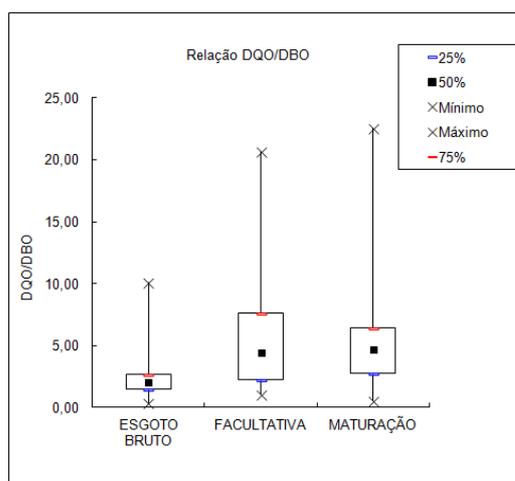
Em relação a todo o sistema, a eficiência média apresentada, 77%, encontra-se abaixo da faixa citada por Gonçalves (2003), de 80 – 85%, para ETEs compostas de lagoa facultativa - lagoa de maturação.

#### 5.1.8.2 Relação DQO/DBO

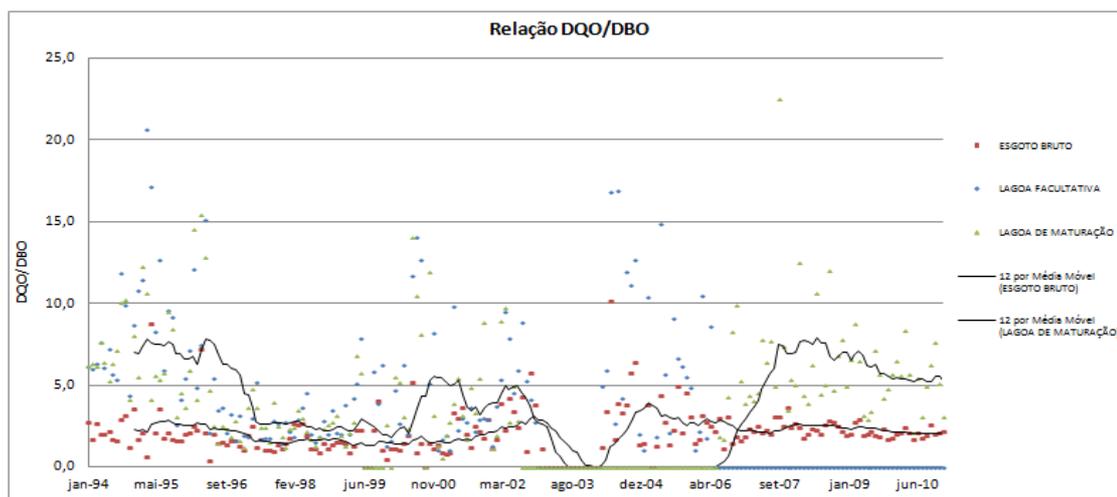
A relação DQO/DBO permite inferências sobre o maior ou menor potencial de biodegradabilidade do esgoto. A Tabela 5.19 fornece a estatística descritiva dessa relação ao longo do tratamento (esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação). Os percentis foram inseridos em gráficos *box-plot* e apresentados na Figura 5.36. Já a Figura 5.37 mostra a variação dessa relação ao longo do tempo.

**Tabela 5.19** - Estatísticas descritivas das relações DQO/DBO, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

<b>DQO/DBO</b>			
	<b>ESGOTO BRUTO</b>	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>
<b>Núm dados</b>	<b>186</b>	<b>130</b>	<b>149</b>
<b>Mínimo</b>	0,4	1,05	0,5
<b>Máximo</b>	10,1	20,7	22,6
<b>Coef. Var</b>	0,6	0,7	0,64
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	2,3	5,6	5,3
<b>Mediana</b>	2,1	4,5	4,8
<b>Média Geométrica</b>	2,0	4,3	4,4
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	1,3	4,1	3,4
<b>Méd - 1 desvpad</b>	1,0	1,5	1,9
<b>Méd + 1 desvpad</b>	3,6	9,7	8,6
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	1,1	1,8	1,9
<b>25%</b>	1,5	2,2	2,8
<b>50%</b>	2,0	4,5	4,8
<b>75%</b>	2,6	7,6	6,5
<b>90%</b>	3,7	11,7	9,8



**Figura 5.36** - Gráficos *Box-plot* da relação DQO/DBO ao longo do tratamento – ETE Confins.

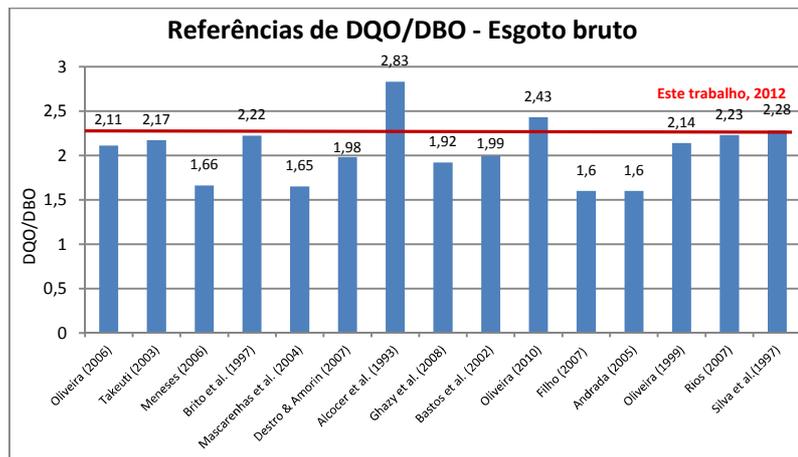


**Figura 5.37** - Série temporal com média móvel anual para a relação DQO/DBO do esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

Segundo von Sperling (2005), a relação DQO/DBO dos esgotos domésticos brutos varia em torno de 1,7 a 2,4. O mesmo autor afirma que efluentes com relação DQO/DBO menor que 2,5 possuem elevada fração biodegradável, com potencial para tratamento biológico. Segundo METCALF e EDDY (1991), para águas residuárias típicas, são relatadas relações entre DQO/DBO variando de 1,25 a 2,5. Jordão e Pessoa (2011) cita a relação típica de 2,0. Yanes (1993), cita valores de 1,7 a 2,0 e van Haandel e Lettinga (1944) de 1,8 a 2,2.

Portanto, baseado nos valores de média e mediana, podemos classificar o efluente do aeroporto como de elevada biodegradabilidade, com a média (2,3) situando-se próximo ao limite superior das faixas reportada acima.

Já ao se comparar com valores relatados na literatura (Figura 5.38), pode-se afirmar que a média do esgoto bruto apresenta valor um pouco superior à maioria que foi apresentada. Entretanto, conforme discutido, ainda situado na faixa de elevada biodegradabilidade.



**Figura 5.38** - Comparação do valor da relação DQO/DBO do esgoto bruto do AITN com valores reportados na literatura.

A Tabela 5.19 e a Figura 5.36 mostram claramente o aumento da relação DQO/DBO do esgoto após a lagoa facultativa, passando de 2,3 (média esgoto bruto) a 5,6 (média efluente da facultativa) – incremento de 143%. Tal comportamento indica boa remoção da matéria orgânica biodegradável nessa unidade, resultando em um aumento da fração inerte.

Em relação à lagoa de maturação, houve ligeira redução após a unidade, considerando os valores de média (de 5,6 no efluente da lagoa facultativa para 5,3 no efluente da lagoa de maturação). Já em relação aos valores de mediana, ocorreu um ligeiro aumento (de 4,5 para 4,8). Na prática, pode-se considerar que não houve alteração substancial da relação DQO/DBO na lagoa de maturação, o que pode ser devido a um balanço entre degradação de matéria orgânica (mineralização) e produção de algas, por exemplo.

Apenas como comparação, Meneses (2006), monitorando um sistema composto por lagoa facultativa primária e duas lagoas de maturação, encontrou relação DQO/DBO ao longo do tratamento de 1,66 no esgoto bruto, 2,00 no efluente da lagoa facultativa primária (incremento de 20% em relação ao esgoto bruto) e 2,86 no efluente da primeira lagoa de maturação (incremento de 43% em relação a lagoa facultativa).

Segundo von Sperling (2005), quanto maior a eficiência do tratamento na remoção da matéria orgânica biodegradável, maior a relação DQO/DBO, que pode chegar a 4,0 ou 5,0. O efluente final apresentou média de 5,3 (mediana 4,8).

Pela Figura 5.37, observa-se que o esgoto bruto apresentou menores variações da relação DQO/DBO ao longo do tempo, comparado aos efluentes da lagoa facultativa e maturação.

### 5.1.8.3 Carga orgânica e taxa de aplicação superficial

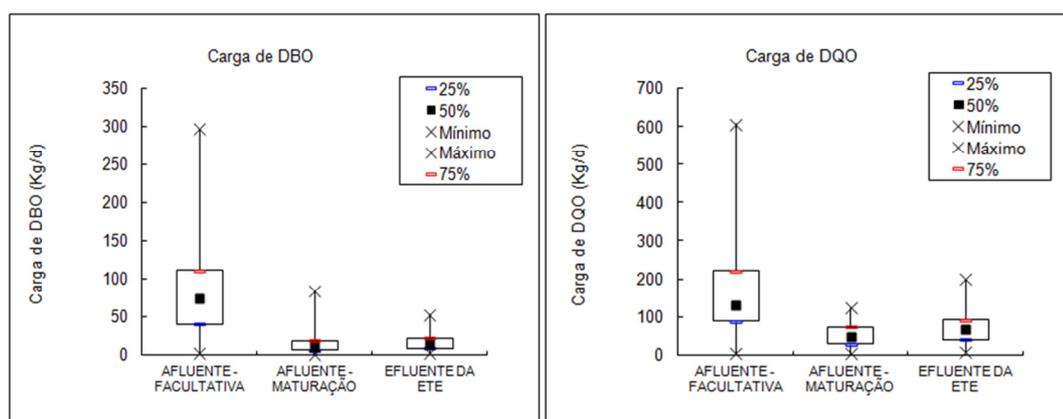
As tabelas 5.20 e 5.21 apresentam a estatística descritiva das cargas orgânicas (DBO e DQO), afluentes a cada unidade, bem como as cargas efluentes do sistema, tomando por base os dados de concentração e vazão apresentados anteriormente. Os percentis estão inseridos em gráficos *box-plot* e apresentados na Figura 5.39.

**Tabela 5.20** - Estatísticas descritivas da carga de DBO aplicada a cada lagoa e a carga efluente do sistema (em kg/d) – ETE Confins.

<b>CARGA DBO</b>			
	<b>AFLUENTE - FACULTATIVA</b>	<b>AFLUENTE - MATURAÇÃO</b>	<b>EFLUENTE DA ETE</b>
<b>Núm dados</b>	<b>186</b>	<b>131</b>	<b>150</b>
<b>Mínimo</b>	2	1	2
<b>Máximo</b>	297	83	53
<b>Coef. Var</b>	0,66	0,85	0,66
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	83	14	17
<b>Mediana</b>	75	10	14
<b>Média geométrica</b>	63	10	14
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	55	12	11
<b>Méd - 1 desvpad</b>	28	2	6
<b>Méd + 1 desvpad</b>	138	25	29
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	24	3	6
<b>25%</b>	41	6	9
<b>50%</b>	75	10	14
<b>75%</b>	111	19	22
<b>90%</b>	155	30	34

**Tabela 5.21** - Estatísticas descritivas da carga de DQO aplicada a cada lagoa e a carga efluente do sistema (em kg/d) – ETE Confins.

<b>CARGA DQO</b>			
	<b>AFLUENTE - FACULTATIVA</b>	<b>AFLUENTE - MATURAÇÃO</b>	<b>EFLUENTE DA ETE</b>
<b>Núm dados</b>	<b>186</b>	<b>130</b>	<b>151</b>
<b>Mínimo</b>	3	3	7
<b>Máximo</b>	607	123	198
<b>Coef. Var</b>	0,68	0,56	0,57
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	164	52	72
<b>Mediana</b>	131	48	68
<b>Média geométrica</b>	129	42	61
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	111	29	41
<b>Méd - 1 desvpad</b>	53	23	31
<b>Méd + 1 desvpad</b>	275	81	114
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	63	16	29
<b>25%</b>	88	29	40
<b>50%</b>	131	48	68
<b>75%</b>	222	74	91
<b>90%</b>	316	92	141

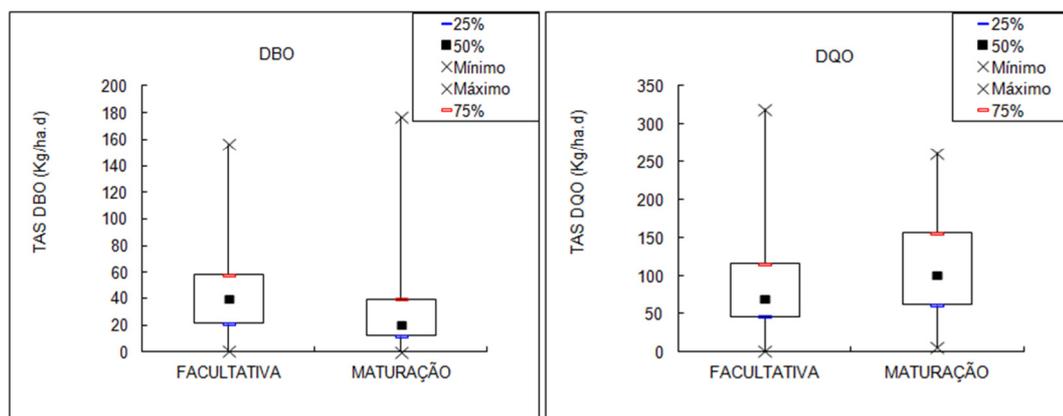


**Figura 5.39** - Gráficos *Box-plot* das carga de DBO e DQO aplicadas a cada lagoa e efluentes da ETE Confins (em kg/d).

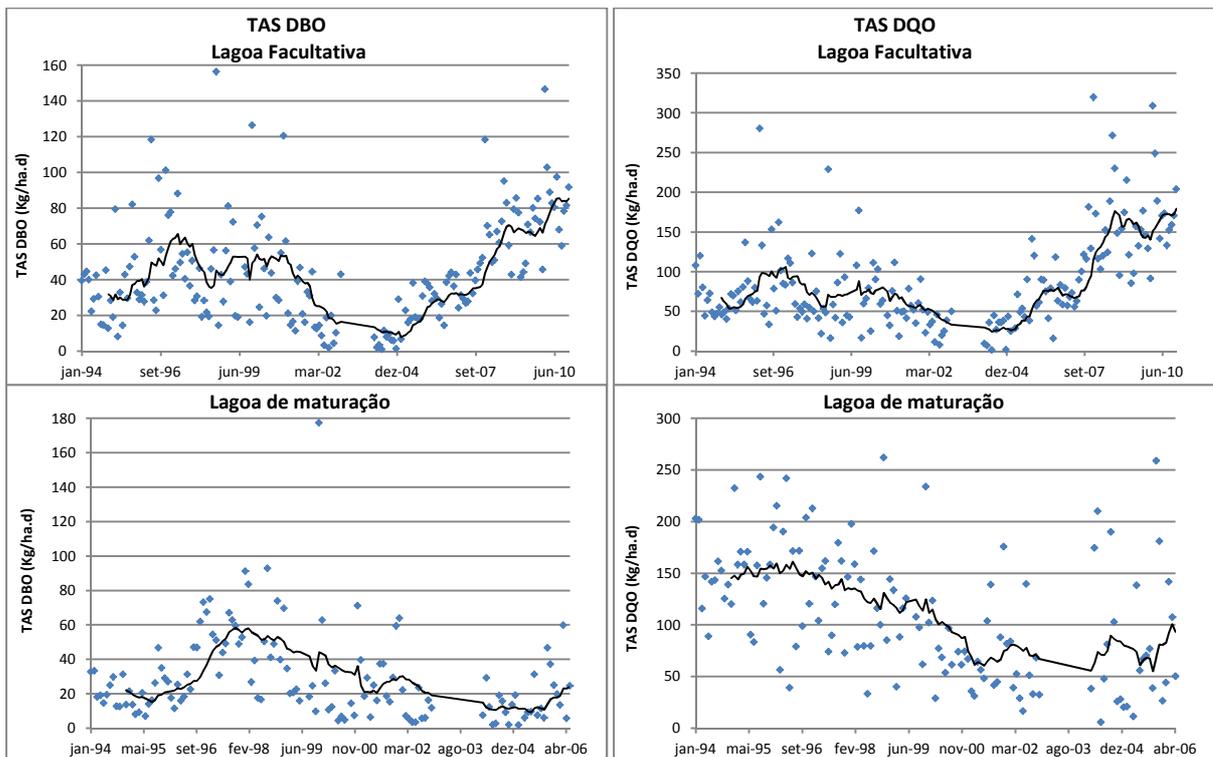
A partir dos dados de carga orgânica e área de cada lagoa, foram obtidos os valores da Taxa de Aplicação Superficial (TAS) de DBO e DQO (em kg/ha.d). A estatística descritiva dos valores, bem como os gráficos *box-plot* e a série histórica estão apresentados na Tabela 5.22, Figura 5.40 e Figura 5.41, respectivamente. As séries históricas contêm, como linha de tendência, média móvel de 12 termos, representando a média anual. Como a maioria das referências em literatura trata de TAS em termos de DBO, tais valores serão discutidos neste tópico.

**Tabela 5.22** - Estatísticas descritivas da TAS de DBO e DQO em cada lagoa (kg/ha.d)  
– ETE Confins.

	TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL			
	DBO		DQO	
	FACULTATIVA	MATURAÇÃO	FACULTATIVA	MATURAÇÃO
<b>Núm dados</b>	<b>186</b>	<b>133</b>	<b>186</b>	<b>130</b>
<b>Mínimo</b>	1	0	2	6
<b>Máximo</b>	157	178	320	262
<b>Coef. Var</b>	0,66	0,86	0,68	0,56
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>				
<b>Média</b>	44	29	86	110
<b>Mediana</b>	39	21	69	101
<b>DISPERSÃO</b>				
<b>Desvio padrão</b>	29	25	59	61
<b>Méd - 1 desvpad</b>	15	4	28	49
<b>Méd + 1 desvpad</b>	73	54	145	171
<b>PERCENTIS</b>				
<b>10%</b>	13	6	33	34
<b>25%</b>	21	12	47	62
<b>50%</b>	39	21	69	101
<b>75%</b>	59	39	117	157
<b>90%</b>	82	63	167	195



**Figura 5.40** - Gráficos *Box-plot* das Taxas de Aplicação Superficial de DBO e DQO em cada lagoa (em kg/ha.d) – ETE Confins.



**Figura 5.41** - Séries históricas da TAS de DBO (gráficos da esquerda) e DQO (gráficos da direita) na lagoa facultativa e lagoa de maturação, com média móvel de 12 termos – ETE Confins.

A partir do exposto, torna-se evidente que a ETE sempre operou em sub-carga. A TAS média na lagoa facultativa, de 44 kgDBO/ha.d, é bem inferior à faixa usual em projetos, de 100 a 350 kgDBO/ha.d em países de clima tropical (GLOYNA, 1971; VON SPERLING, 2002). O percentil 90% (82 kgDBO/ha.d) indica que a grande maioria dos dados estiveram abaixo desse limite mínimo, entretanto, observa-se a tendência de elevação nos últimos anos.

Mara (1997) apresenta uma equação que utiliza a temperatura média do ar no mês mais frio para estimativa da TAS a ser considerado em projetos de lagoas facultativas (Equação 5.11):

$$TAS = 350 \times (1,107 - 0,002 \times T)^{(T-25)} \quad (5.11)$$

Em que:

TAS = Taxa de Aplicação Superficial (kgDBO5/ha.d)

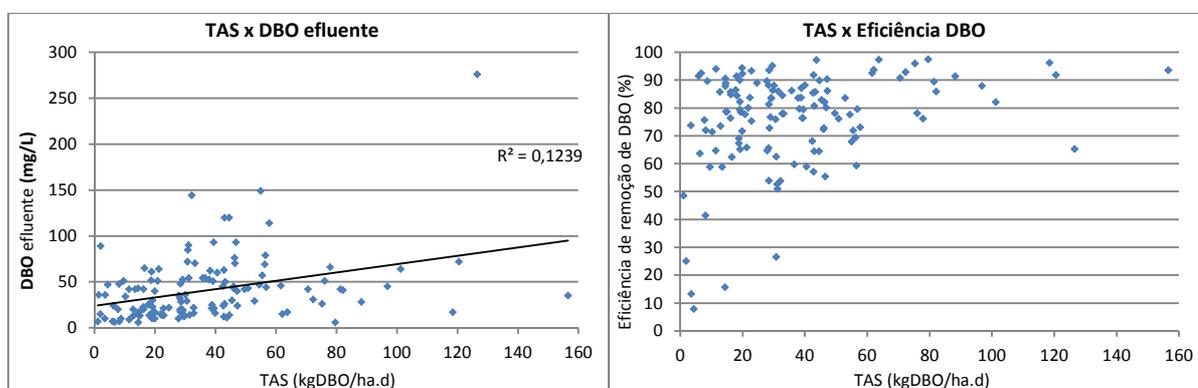
T = temperatura média do ar no mês mais frio (°C)

A partir da Equação 5.11 e o valor médio da temperatura do ar no mês de Julho ( $21,7^{\circ}\text{C}$ ), têm-se que a TAS recomendada no projeto da lagoa seria de 285 kgDBO/ha.d, valor superior até mesmo à TAS máxima de operação da lagoa (157 kgDBO/ha.d) durante todo o período de monitoramento.

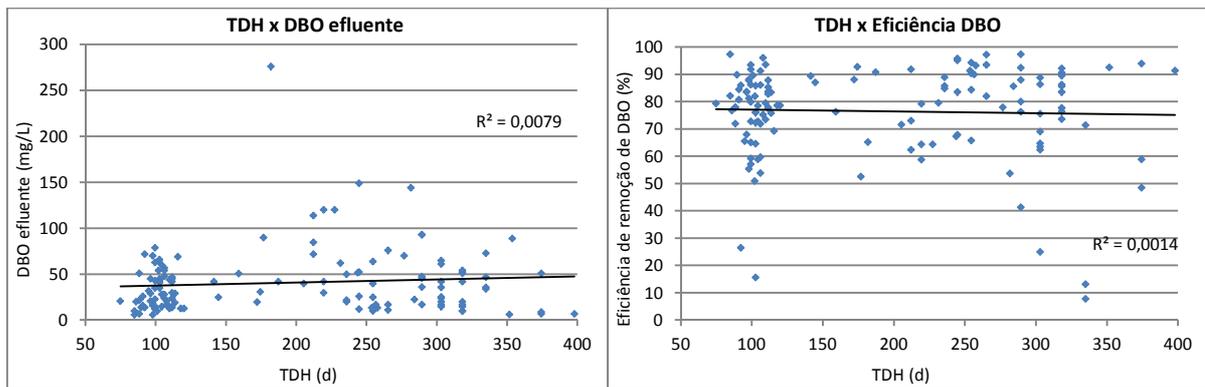
Em relação à lagoa de maturação, recomenda-se evitar que a mesma opere com taxas superiores a 75% da TAS na lagoa facultativa (MARA, 2005), portanto, inferiores a 33 kgDBO/ha.d. Visto que a mesma apresentou média de 29 kgDBO/ha.d, mediana de 21 kgDBO/ha.d e percentil de 75% igual a 39 kgDBO/ha.d observa-se que também não ocorreram situações críticas de sobrecarga na unidade.

#### 5.1.8.4 Relações de carga e TDH

A Figura 5.42 apresenta os gráficos obtidos para as correlações da taxa de aplicação superficial (TAS) de DBO com a eficiência de remoção e com a concentração de DBO efluente. A Figura 5.43 apresenta os gráficos para as relações com o tempo de detenção hidráulica. A equação que aparece em cada gráfico foi a que melhor se ajustou aos dados. Neste tópico, serão discutidos apenas os resultados da lagoa facultativa, já que a lagoa de maturação não foi projetada para remoção de matéria orgânica.



**Figura 5.42 -** Relação entre TAS e concentração de DBO efluente e eficiência de remoção de DBO na lagoa facultativa – ETE Confins.



**Figura 5.43** - Relação entre TDH e concentração de DBO efluente e eficiência de remoção de DBO na lagoa facultativa – ETE Confins.

Na Figura 5.42, observa-se alguma relação entre a TAS e aumento da DBO efluente. Apesar da TAS em nenhum momento atingir o limite de 350 kg/ha.d - para se considerar uma situação de “sobrecarga” - é de se esperar que o aumento da TAS implique em aumento da DBO efluente. Entretanto, observa-se, também na Figura 5.42, uma possível tendência de aumento da eficiência com o aumento da TAS. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de que a DBO afluenta está contabilizada nos dois eixos e quando esta aumenta, aumentam ambos (caso a DBO efluente não acompanhe esse aumento). Não foi observada qualquer tendência de diminuição da DBO efluente ou aumento da eficiência com o aumento do TDH, mesmo este tendo atingido valores muito superiores ao usual.

Oliveira e von Sperling (2005b), analisando a influência de fatores de projeto e de operação no desempenho de 132 estações de tratamento de esgotos, também considerando a concentração efluente e a eficiência de remoção de DBO, concluíram que, quando as ETES operavam em condições de sobrecarga, existia uma tendência de elevação da concentração de DBO efluente. No entanto, valores bastante elevados de taxa de aplicação não teriam conduzido a uma deterioração expressiva da qualidade do efluente. Foi observada, também, uma ausência de relação entre a eficiência de remoção de DBO e TAS. Segundo os autores, as condições de subcarga ou sobrecarga não mostraram ter grande influência no desempenho. Ademais, concluíram sobre a pequena influência do TDH no desempenho das lagoas, já que os piores desempenhos foram registrados com as ETES operando dentro da faixa recomendada de TDH.

Na presente pesquisa, houve grande dispersão dos dados, com baixos valores de  $R^2$ , não cabendo qualquer conclusão mais aprofundada, exceto as aparentes tendências apresentadas

na Figura 5.42, a respeito da TAS e a DBO efluente, e a ausência de qualquer relação com TDH (Figura 5.43).

### **5.1.9 *Escherichia coli***

A remoção de organismos patogênicos é um dos objetivos mais importantes das lagoas. Entre os organismos a serem removidos, incluem-se bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos (VON SPERLING, 2002).

Segundo o mesmo autor, certa remoção ocorre nas lagoas anaeróbias, facultativas e aeradas, entretanto, a grande remoção ocorre nas lagoas de maturação, especialmente projetadas para esta finalidade. Nesse caso, a remoção de bactérias e vírus é favorecida pela menor profundidade das lagoas, resultando em maior atividade das algas e conseqüentemente elevação do pH e ao teor de oxigênio dissolvido. Tais fatores, somados a temperatura do ambiente, insolação, escassez de alimentos, predação e competição, contribuem para a remoção desses patógenos.

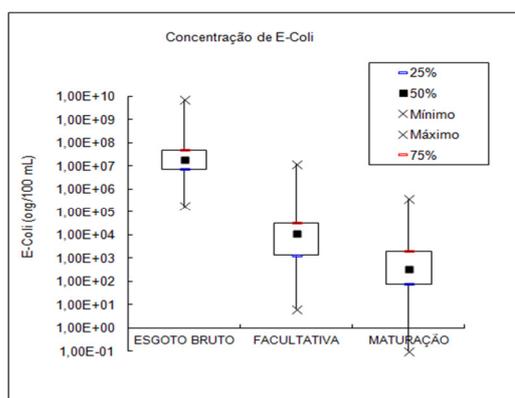
Os cistos de protozoários e ovos de helmintos geralmente são removidos por sedimentação. Tendo em vista o elevado TDH (média de 193 dias) na lagoa facultativa e lagoa de maturação (TDH médio de 18 dias), acredita-se que o efluente final seja isento desses organismos.

Nos dados de monitoramento da presente pesquisa, a qualidade bacteriológica do efluente, bem como a eficiência do sistema, foram aferidos em termos de concentração de *Escherichia coli*. Apesar de alguns dados (principalmente os mais antigos) serem relativos a coliformes termotolerantes, considerou-se todos como *E. coli* (maioria absoluta dos dados), devido a impossibilidade de separar os dois grupos e tratar os dados separadamente.

A Tabela 5.23 fornece a estatística descritiva das concentrações de *E. coli* (NMP/100mL) ao longo do período de análise, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação. Os percentis estão inseridos em gráficos *box-plot* e apresentados na Figura 5.44. A estatística descritiva e os gráficos *box-plot*, com os dados de eficiência de cada unidade e do sistema, estão apresentados na Tabela 5.24 e na Figura 5.45.

**Tabela 5.23** - Estatísticas descritivas das concentrações de *E. coli*, em NMP/100mL, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

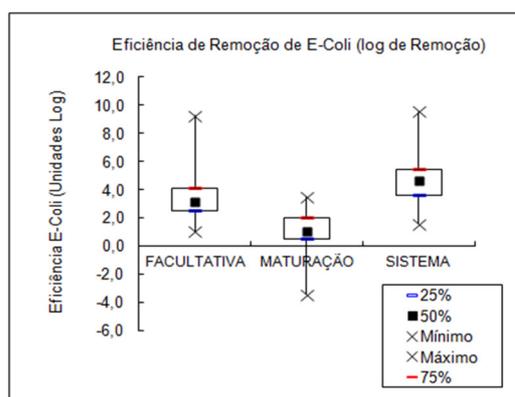
<i>Escherichia coli</i>			
	ESGOTO BRUTO	FACULTATIVA	MATURAÇÃO
<b>Núm dados</b>	<b>167</b>	<b>119</b>	<b>130</b>
<b>Mínimo</b>	1,80E+05	6,30E+00	1,00E-01
<b>Máximo</b>	7,00E+09	1,20E+07	3,70E+05
<b>Coef. Var</b>	4,95E+00	7,16E+00	4,66E+00
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	1,33E+08	1,67E+05	7,66E+03
<b>Mediana</b>	1,80E+07	1,10E+04	3,30E+02
<b>Média geométrica</b>	1,94E+07	5,96E+03	3,06E+02
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	6,60E+08	1,19E+06	3,57E+04
<b>Méd - 1 desvpad</b>	-5,27E+08	-1,03E+06	-2,80E+04
<b>Méd + 1 desvpad</b>	7,93E+08	1,36E+06	4,33E+04
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	2,66E+06	2,68E+02	1,00E+01
<b>25%</b>	7,30E+06	1,30E+03	7,66E+01
<b>50%</b>	1,80E+07	1,10E+04	3,30E+02
<b>75%</b>	4,90E+07	3,20E+04	1,95E+03
<b>90%</b>	2,38E+08	5,68E+04	8,64E+03



**Figura 5.44** - Gráficos *Box-plot* da concentração de *E. coli* (NMP/100mL) ao longo do tratamento – ETE Confins.

**Tabela 5.24** - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de *E. coli* (unidades logarítmicas), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins.

<b><i>Escherichia Coli</i></b>			
	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>	<b>SISTEMA</b>
<b>Núm dados</b>	<b>121</b>	<b>84</b>	<b>130</b>
<b>Mínimo</b>	1,0	0,0	1,5
<b>Máximo</b>	9,3	3,5	9,5
<b>Coef. Var</b>	0,39	0,74	0,30
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	3,5	1,4	4,7
<b>Mediana</b>	3,1	1,1	4,7
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	1,4	1,0	1,4
<b>Méd - 1 desvpad</b>	2,1	0,4	3,3
<b>Méd + 1 desvpad</b>	4,8	2,4	6,1
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	2,1	0,0	3,0
<b>25%</b>	2,5	0,5	3,7
<b>50%</b>	3,1	1,1	4,7
<b>75%</b>	4,2	2,1	5,5
<b>90%</b>	5,3	2,8	6,3



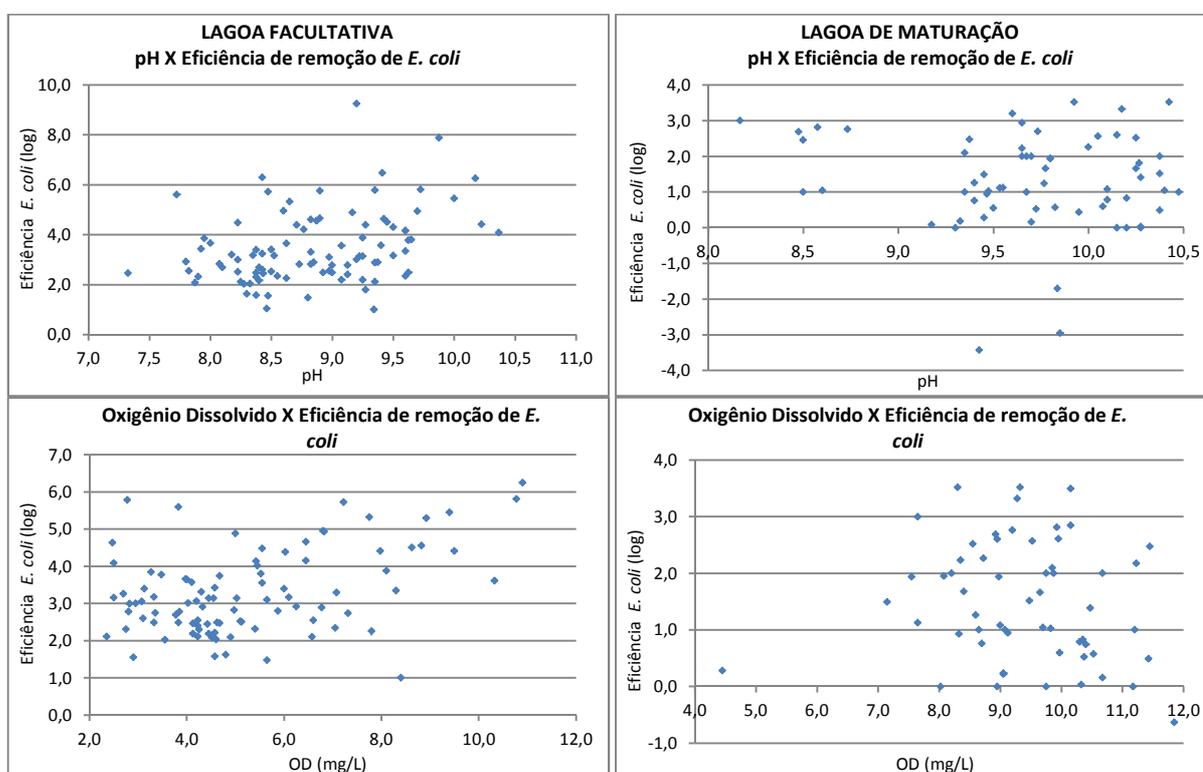
**Figura 5.45** - Gráficos *Box-plot* da eficiência de remoção de *E. coli* de cada lagoa e do sistema – ETE Confins.

A análise da Tabela 5.23 e da Figura 5.44 evidencia a remoção de *E. coli* ao longo do tratamento. A média no esgoto bruto do aeroporto ( $1,94 \times 10^7$  NMP/100mL) está dentro da faixa típica de esgotos brutos domésticos ( $10^6$  a  $10^9$  org/100mL), de acordo com von Sperling (2005a), e também dentro da faixa típica apresentada por Metcalf e Eddy (2003), de  $10^6$  a  $10^8$  NMP/100ml. A média considerada foi a média geométrica, mais indicada para tratamento de dados com tal ordem de grandeza.

A Tabela 5.24 e a Figura 5.45 indicam ótima eficiência média da lagoa facultativa na remoção bacteriológica, de cerca de 4 unidades *log*; superior à típica de 1-2 unidades *log* de remoção

de coliformes em lagoas facultativas (VON SPERLING, 2005a; VON SPERLING *et. al.*, 2003). A lagoa de maturação apresentou média de remoção de 1,4 log. Para todo o sistema, a remoção foi bastante satisfatória, já que os valores contidos entre os percentis de 10 e 90% (eficiências entre 3,0 e 6,3) superam a faixa típica de remoção de coliformes em um sistema composto de lagoa anaeróbia – facultativa – maturação, de 3 a 5 unidades *log* (VON SPERLING, 2005a) e atendem a faixa típica de 3 a 6 *log* em um sistema lagoa facultativa – lagoa de maturação (VON SPERLING *et. al.*, 2003). Os elevados valores de TDH nas lagoas, principalmente na lagoa facultativa, muito provavelmente contribuem com as elevadas eficiências de remoção.

A Figura 5.46 apresenta gráficos de dispersão com os dados de eficiência de remoção de *E. coli* (*log* de remoção) e incremento de pH e OD nas lagoas.



**Figura 5.46** - Relação entre pH e concentração de OD e eficiência de remoção de *E. coli* (*log* de remoção) na lagoa facultativa e lagoa de maturação – ETE Confins.

Não foi observada qualquer tendência de aumento da eficiência de remoção de *E. coli* com o incremento de pH e OD na lagoa de maturação (gráficos da direita). Além disso, os dados indicam uma tendência contrária na correlação com OD. Já para a lagoa facultativa, observou-se tendência positiva entre as duas variáveis e a eficiência de remoção, conforme já consolidado na literatura. Nesse caso, a remoção de *E. coli* parece estar mais correlacionada

ao incremento de OD. Apesar de se registrar tais tendências, importante salientar a grande dispersão dos dados e os baixos valores de  $R^2$ , impossibilitando qualquer assertiva mais conclusiva a respeito.

#### **5.1.10 Nutrientes**

Apresentam-se, neste tópico, os resultados referentes a nitrogênio (nitrogênio total e nitrogênio amoniacal) e fósforo (total), para o esgoto bruto e ao longo do tratamento.

Os principais mecanismos de remoção de nitrogênio em lagoas de estabilização compreendem a volatilização (da amônia); assimilação pelas algas (de amônia e nitratos); atividade bacteriana (nitrificação – desnitrificação) e sedimentação (do nitrogênio orgânico particulado).

Destes, tradicionalmente o mais importante era considerado o da volatilização da amônia, ou seja, dessorção da amônia para a atmosfera (VON SPERLING, 2002). Tal mecanismo é altamente dependente do pH e temperatura, mais pronunciadamente do primeiro, onde maiores valores resultam em maior remoção, principalmente em lagoas de maturação. Os demais mecanismos eram considerados de menor importância (VON SPERLING, 2002). No entanto, a literatura recente tem questionado a importância relativa da volatilização. Assunção (2009), por exemplo, avaliando o desempenho de três lagoas de polimento em série (escala de demonstração) obteve taxas médias de amônia volatilizada menores que 0,2 kg/ha.d, o que representou menos que 3% do nitrogênio amoniacal removido nas lagoas.

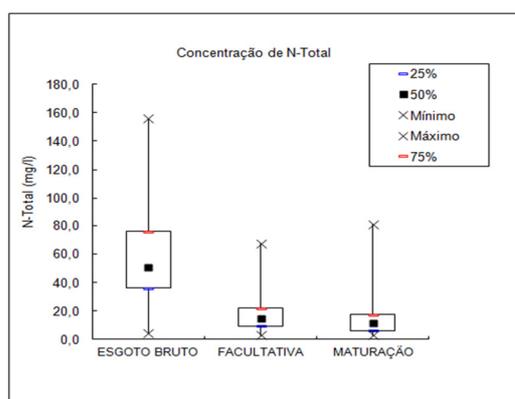
Já para o fósforo, os principais mecanismos de remoção envolvem retirada do fósforo orgânico por algas e bactérias (que sairão com o efluente final) e precipitação de fosfatos em condições de elevado pH (usualmente maior que 9 para que haja remoção significativa) (VON SPERLING, 2002).

##### **5.1.10.1 Nitrogênio Total**

A Tabela 5.25 fornece a estatística descritiva das concentrações de nitrogênio total ao longo do período de análise, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação. Os percentis estão inseridos em gráficos *box-plot* e apresentados na Figura 5.47.

**Tabela 5.25** - Estatísticas descritivas das concentrações de Nitrogênio Total (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

<b>NITROGÊNIO TOTAL</b>			
	<b>ESGOTO BRUTO</b>	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>
<b>Núm dados</b>	<b>143</b>	<b>105</b>	<b>107</b>
<b>Mínimo</b>	5	3	3
<b>Máximo</b>	156	68	81
<b>Coef. Var</b>	0,50	0,68	0,80
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	57	17	14
<b>Mediana</b>	51	14	12
<b>Média geométrica</b>	43	14	11
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	28	12	11
<b>Méd - 1 desvpad</b>	28	6	3
<b>Méd + 1 desvpad</b>	85	29	25
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	29	6	5
<b>25%</b>	36	10	6
<b>50%</b>	51	14	12
<b>75%</b>	76	22	18
<b>90%</b>	99	32	25



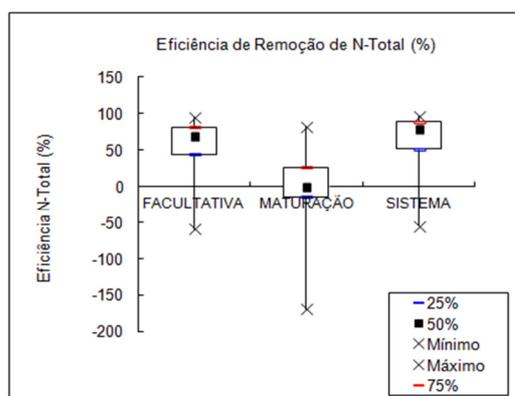
**Figura 5.47** - Gráficos *Box-plot* da concentração de nitrogênio total ao longo do tratamento – ETE Confins.

As concentrações médias de nitrogênio total no esgoto bruto do aeroporto (média de 57 mg/L e mediana de 51 mg/L) se situaram próximas ao limite superior da faixa típica de esgotos domésticos citada por von Sperling (2005a), de 35 a 60 mg/L (típico 45 mg/L), mas ainda inferiores às médias reportadas em pesquisas de Oliveira (2006) e Destro e Amorin (2007), de, respectivamente 66 e 80 mg/L. Na classificação de Jordão e Pessôa (2011), a concentração de nitrogênio total está entre a típica de “esgoto médio” (40 mg/L) e “esgoto forte” (85 mg/L), mais próximo da primeira.

A Tabela 5.25 e a Figura 5.47 indicam remoção em ambas as lagoas - notadamente na lagoa facultativa e em menor monta na lagoa de maturação - resultando em um decréscimo sequencial das concentrações ao longo do tratamento. A Tabela 5.26 e a Figura 5.48 apresentam a estatística descritiva das eficiências de remoção de cada unidade e do sistema, onde se pode perceber a boa eficiência da lagoa facultativa e da ETE como um todo. Entretanto, a lagoa de maturação não apresentou eficiência expressiva, o que pode ser devido às menores concentrações afluentes à unidade. Também é importante destacar a grande variação dos dados da lagoa de maturação (elevado coeficiente de variação).

**Tabela 5.26** - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de nitrogênio total (%), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins.

NITROGÊNIO TOTAL			
	FACULTATIVA	MATURAÇÃO	SISTEMA
<b>Núm dados</b>	<b>106</b>	<b>71</b>	<b>107</b>
<b>Mínimo</b>	-60	-169	-55
<b>Máximo</b>	95	82	96
<b>Coef. Var</b>	0,49	33,35	0,43
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	59	1	67
<b>Mediana</b>	69	0	78
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	29	44	29
<b>Méd - 1 desvpad</b>	30	-43	39
<b>Méd + 1 desvpad</b>	88	45	96
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	17	-43	30
<b>25%</b>	44	-14	51
<b>50%</b>	69	0	78
<b>75%</b>	81	26	88
<b>90%</b>	87	51	94



**Figura 5.48** - Gráficos *Box-plot* da eficiência de remoção de nitrogênio total de cada lagoa e do sistema – ETE Confins.

Os valores de média (59%) e mediana (69%) da eficiência da lagoa facultativa demonstram bom funcionamento da unidade na remoção do nitrogênio total, quando se leva em consideração que se esperam valores entre 30 e 50% em lagoas facultativas, e não mais que 60% (VON SPERLING, 2005a; JORDÃO e PESSÔA, 2011). A eficiência média da ETE (67%) também superou o esperado, já que von Sperling (2005a) cita a faixa de 50 – 65% para sistemas compostos por lagoa anaeróbia – lagoa facultativa – lagoa de maturação e Jordão e Pessôa (2011) citam a faixa de 40 a 65% para sistemas compostos por lagoa facultativa – lagoa de maturação.

Von Sperling (2002) apresenta equações de literatura (WPCF, 1990; CRITES e TCHOBANOGLIOUS, 2000 *apud* VON SPERLING, 2002) utilizadas na estimativa da concentração efluente de nitrogênio, de acordo com o regime hidráulico da lagoa (se mais próximo do fluxo pistonado ou de mistura completa). As equações estão apresentadas abaixo:

Regime hidráulico mais próximo ao fluxo em pistão:

$$C_e = C_o \cdot e^{-K \cdot [TDH + 60,6 \cdot (pH - 6,6)]} \quad K = 0,0064 \times 1,039^{(T-20)} \quad (5.12)$$

Regime hidráulico mais próximo à mistura completa:

$$C_e = \frac{C_o}{1 + TDH \cdot (0,000576 \times T - 0,00028) \cdot e^{(1,08 - 0,042 \times T) \cdot (pH - 6,6)}} \quad (5.13)$$

onde:

- $C_o$  = Concentração afluyente (mg/L)
- $C_e$  = Concentração efluente (mg/L)
- T = Temperatura do líquido (°C)
- pH = pH da lagoa
- TDH = Tempo de detenção hidráulica da lagoa (d)
- K = Coeficiente de remoção ( $d^{-1}$ )

Na presente pesquisa, especula-se que a lagoa facultativa se aproxime mais do regime de mistura completa (relação comprimento/largura em torno de 1,4) enquanto que a lagoa de maturação se aproxime do regime de fluxo em pistão (relação comprimento/largura em torno de 3,5).

Aplicando-se as Equações 5.12 e 5.13 para a lagoa facultativa, e considerando como dados de entrada os valores médios de  $C_o$  (57 mg/L), T (24,7 °C), pH (8,8) e TDH (192,7 d), tem-se como estimativa da concentração de nitrogênio efluente o valor de 7 mg/L com a aplicação da Equação 5.12 (regime mais próximo ao de fluxo em pistão) e o valor de 14 mg/L com a aplicação da Equação 5.13 (regime mais próximo ao de mistura completa). O valor resultante da Equação 5.13 está bem próximo à média observada (17 mg/L) e exatamente igual à mediana (14 mg/L). Já a Equação 5.12 resultou em um valor bastante inferior aos observados (5 mg/L). Conforme comentado, a configuração geométrica da lagoa facultativa favorece o regime de mistura completa.

Para a lagoa de maturação, os dados de entrada  $C_o$  (17 mg/L), T (25,6 °C), pH (9,6) e TDH (17,9 d) conduziram aos valores estimados de 3 mg/L (Equação 5.12) e 13 mg/L (Equação 5.13). Apesar da lagoa supostamente tender ao regime de fluxo em pistão, foi a Equação 5.13 que mais se aproximou à média e mediana observadas, de 14 e 12 mg/L.

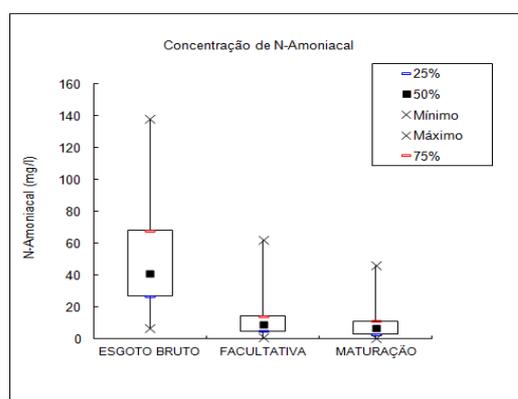
As concentrações médias efluentes da lagoa facultativa e do sistema estão abaixo do usual - de acordo com a literatura - possivelmente devido ao fato de o TDH ser muito maior que o usual e a TAS muito menor. Para a lagoa facultativa, usualmente têm-se um valor maior que 20 mg/L e para um sistema lagoa anaeróbia – facultativa – maturação entre 15 e 20 mg/L (VON SPERLING, 2005a).

#### 5.1.10.2 Nitrogênio amoniacal

A Tabela 5.27 fornece a estatística descritiva das concentrações de nitrogênio amoniacal ao longo do período de análise, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação. Os percentis estão inseridos em gráficos *box-plot* e apresentados na Figura 5.49.

**Tabela 5.27** - Estatísticas descritivas das concentrações de nitrogênio amoniacal (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

<b>NITROGÊNIO AMONIACAL</b>			
	<b>ESGOTO BRUTO</b>	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>
<b>Núm dados</b>	<b>158</b>	<b>120</b>	<b>122</b>
<b>Mínimo</b>	7	1	1
<b>Máximo</b>	138	62	46
<b>Coef. Var</b>	0,58	0,78	0,86
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	49	11	9
<b>Mediana</b>	41	9	7
<b>Média geométrica</b>	35	8	6
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	28	9	7
<b>Méd - 1 desvpad</b>	20	3	1
<b>Méd + 1 desvpad</b>	77	20	16
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	19	3	2
<b>25%</b>	27	5	3
<b>50%</b>	41	9	7
<b>75%</b>	68	14	11
<b>90%</b>	90	23	19



**Figura 5.49** - Gráficos *Box-plot* da concentração de nitrogênio amoniacal ao longo do tratamento – ETE Confins.

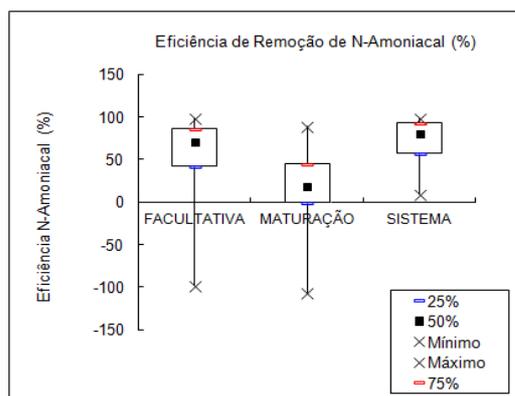
Pela Tabela 5.27, a concentração média de nitrogênio amoniacal no efluente bruto do aeroporto, de 49 mg/L (mediana 41 mg/L) supera o esperado para esgoto bruto doméstico, cuja faixa é de 20 a 35 mg/L (típico 25 mg/L), de acordo com von Sperling (2005a). Na classificação de Jordão e Pessôa (2011), a concentração de amônia se aproxima da típica de “esgoto forte” (50 mg/L) e na classificação de Metcalf e Eddy (2003), supera a típica de “esgoto doméstico forte” (45 mg/L). Em se tratando de efluente de aeroportos, Liu *et al.* (2007) também constataram concentrações de amônia acima dessa faixa (média de 39 mg/L), em caracterização realizada no Aeroporto de Qingdao, China.

Entretanto, a remoção nas lagoas foi bastante expressiva (ver Tabela 5.28 e Figura 5.50 abaixo), quase exclusivamente na lagoa facultativa, cuja eficiência média (63%) superou a esperada (não mais que 50%), de acordo com von Sperling (2002) e Jordão e Pessôa (2011). A lagoa de maturação, apesar de mais rasa, apresentou eficiência média apenas de 16%, o que pode ser devido às menores concentrações afluentes à unidade. Nesse sentido, não atendeu a expectativa de remoção de até mais que 90% (VON SPERLING, 2002).

A eficiência de todo o sistema (média de 73% e mediana 81%) atendeu as expectativas, se comparada com a eficiência esperada para lagoas de maturação em série (entre 70 e 80%) e sistemas lagoa anaeróbia – lagoa facultativa – lagoa de maturação (de 50 a 65%), apontadas pelo mesmo autor. O sistema também atendeu as expectativas se observada a faixa citada por Jordão e Pessôa (2011), para lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação, de 40 a 80%.

**Tabela 5.28** - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de nitrogênio amoniacal (%), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins.

<b>NITROGÊNIO AMONICAL</b>			
	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>	<b>SISTEMA</b>
<b>Núm dados</b>	<b>122</b>	<b>84</b>	<b>121</b>
<b>Mínimo</b>	-98	-107	10
<b>Máximo</b>	98	89	99
<b>Coef. Var</b>	0,50	2,36	0,32
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	63	16	73
<b>Mediana</b>	71	19	81
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	31	38	24
<b>Méd - 1 desvpad</b>	32	-22	49
<b>Méd + 1 desvpad</b>	94	54	97
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	27	-19	37
<b>25%</b>	43	0	58
<b>50%</b>	71	19	81
<b>75%</b>	87	45	94
<b>90%</b>	95	56	97



**Figura 5.50** - Gráficos *Box-plot* da eficiência de remoção de nitrogênio amoniaco de cada lagoa e do sistema – ETE Confins.

Von Sperling (2002) apresenta equações de literatura (Pano e Middlebrooks, 1982 *apud* von Sperling, 2002) utilizadas na estimativa da concentração efluente de amônia, de acordo com a temperatura do líquido:

Para  $T < 20^{\circ}\text{C}$ :

$$C_e = \frac{C_o}{1 + \left[ \frac{(A/Q) \cdot (0,0038 + 0,000134 \times T) \cdot e^{(1,041 + 0,044 \times T) \cdot (pH - 6,6)}} \right]} \quad (5.14)$$

Para  $T \geq 20^{\circ}\text{C}$ :

$$C_e = \frac{C_o}{1 + \left[ \frac{(A/Q) \cdot 5,035 \times 10^{-3} \cdot e^{(1,540 \times (pH - 6,6))}} \right]} \quad (5.15)$$

onde:

$C_o$  = Concentração afluyente (mg/L)

$C_e$  = Concentração efluente (mg/L)

$Q$  = Vazão afluyente ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

$A$  = Área superficial da lagoa ( $\text{m}^2$ )

$T$  = Temperatura do líquido ( $^{\circ}\text{C}$ )

pH = pH da lagoa

No caso das lagoas do presente estudo, as temperaturas médias foram de  $24,7$  e  $25,6^{\circ}\text{C}$ , para a lagoa facultativa e de maturação, respectivamente, sendo a Equação 5.10 a ser aplicada.

A Equação 5.15 resultou em valores esperados para o efluente bem inferiores aos observados no efluente das lagoas. Para a lagoa facultativa, considerando como dados de entrada os valores médios de  $C_o$  (49 mg/L), pH (8,8), A (18965,5 m<sup>2</sup>) e Q (354,2 m<sup>3</sup>/d, tem-se como estimativa da concentração de amônia efluente o valor de 5 mg/L, inferior à média observada de 11 mg/L. Para a lagoa de maturação, cujos dados de entrada foram  $C_o$  (11 mg/L), pH (9,6), A (4700 m<sup>2</sup>) e Q (354,2 m<sup>3</sup>/d), o valor previsto pela Equação 5.15 foi de 1 mg/L, também inferior à média observada (9 mg/L).

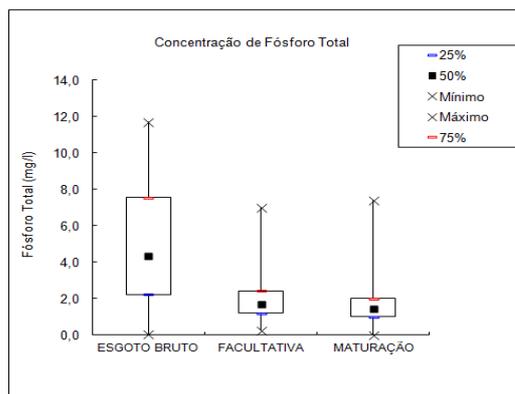
Apesar de superiores às concentrações previstas pela Equação 5.15 (valores esperados), as concentrações médias efluentes da lagoa facultativa e do sistema ainda estão abaixo da média citada na literatura. Para a lagoa facultativa, usualmente têm-se um valor maior que 15 mg/L e para um sistema lagoa anaeróbia – facultativa – maturação entre 10 e 15 mg/L (VON SPERLING, 2005a).

#### 5.1.10.3 Fósforo Total

A estatística descritiva das concentrações de fósforo total ao longo do período de análise, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação, está apresentada na Tabela 5.29. Os percentis foram inseridos em gráficos box-plot e apresentados na Figura 5.51.

**Tabela 5.29** - Estatísticas descritivas das concentrações de fósforo total (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

	<b>FÓSFORO TOTAL</b>		
	<b>ESGOTO BRUTO</b>	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>
<b>Núm dados</b>	<b>168</b>	<b>131</b>	<b>132</b>
<b>Mínimo</b>	0	0	0
<b>Máximo</b>	11,7	7,0	7,4
<b>Coef. Var</b>	0,61	0,55	0,72
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	4,9	1,9	1,8
<b>Mediana</b>	4,4	1,7	1,5
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	3,0	1,1	1,3
<b>Méd - 1 desvpad</b>	1,9	0,9	0,5
<b>Méd + 1 desvpad</b>	7,9	3,0	3,0
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	1,6	0,8	0,7
<b>25%</b>	2,2	1,2	1,0
<b>50%</b>	4,4	1,7	1,5
<b>75%</b>	7,5	2,4	2,0
<b>90%</b>	9,2	3,0	3,6



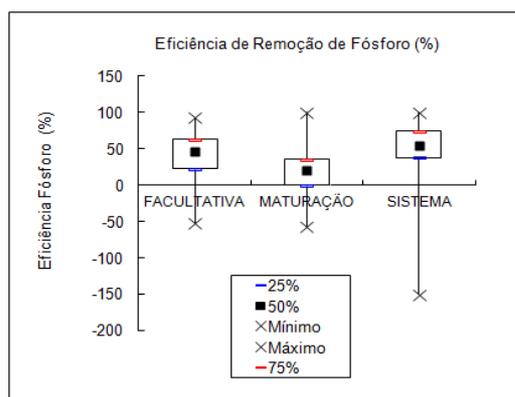
**Figura 5.51** - Gráficos *Box-plot* da concentração de fósforo total ao longo do tratamento – ETE Confins.

As concentrações médias de fósforo total no esgoto bruto do aeroporto (média de 4,9 mg/L e mediana de 4,4 mg/L) se situaram próximas ao limite inferior das faixas típicas de esgotos domésticos citada por von Sperling (2005a) e Metcalf e Eddy (2003), de 4 a 15 mg/L (típico 7 mg/L) e 4 a 16 mg/L, respectivamente. Também inferiores às médias reportadas em pesquisas realizadas por Oliveira (2006), de 8 mg/L; Destro e Amorin (2007), de 6,1 mg/L; Bastos et. al. (2002), de 6,2 mg/L e Brito et. al. (1997), de 11,3 mg/L, todos com esgoto doméstico. Na classificação de Jordão e Pessôa (2011), a concentração média de fósforo total se aproxima muito da típica de “esgoto fraco” (5 mg/L). Portanto, ao contrário do que foi observado com as concentrações de amônia e nitrogênio total, a concentração média de fósforo total do esgoto bruto do aeroporto tende à ser inferior às tipicamente encontradas em esgotos domésticos.

A Tabela 5.29 e a Figura 5.51 indicam boa remoção de fósforo total na ETE. A Tabela 5.30 e a Figura 5.52 apresentam a estatística descritiva das eficiências de remoção de cada unidade e do sistema, onde se pode perceber uma eficiência razoável na lagoa facultativa (média de 43%) e uma eficiência menor na lagoa de maturação (média de 18%, mas ainda contribuindo na remoção), resultando em uma boa eficiência da ETE como um todo (média de 53%).

**Tabela 5.30** - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de fósforo total (%), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins.

<b>FÓSFORO</b>			
	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>	<b>SISTEMA</b>
<b>Núm dados</b>	<b>128</b>	<b>95</b>	<b>131</b>
<b>Mínimo</b>	-53	-57	-150
<b>Máximo</b>	93	100	100
<b>Coef. Var</b>	0,63	1,60	0,56
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	43	18	53
<b>Mediana</b>	46	20	54
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	27	29	30
<b>Méd - 1 desvpad</b>	16	-11	23
<b>Méd + 1 desvpad</b>	70	46	83
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	7	-18	20
<b>25%</b>	23	0	38
<b>50%</b>	46	20	54
<b>75%</b>	63	35	74
<b>90%</b>	75	51	84



**Figura 5.52** - Gráficos *Box-plot* da eficiência de remoção de fósforo total de cada lagoa e do sistema – ETE Confins.

Segundo Cavalcanti et. al. (2001), em lagoas rasas e com baixas taxas de aplicação hidráulica (condições semelhantes à da lagoa de maturação em estudo), a remoção de fósforo situa-se entre 60 e 80%. Segundo von Sperling (2002) e Jordão e Pessoa (2011), em lagoas facultativas a remoção é usualmente inferior a 35%. Tomando por base essas referências, pode-se considerar bom funcionamento da lagoa facultativa na remoção de fósforo (média de 43%) e eficiência abaixo do esperado na lagoa de maturação (média de 18%). Da mesma forma que ocorreu para os demais parâmetros, há de se considerar que a maior remoção na lagoa facultativa pode refletir nos menores percentuais de remoção na lagoa de maturação. O sistema apresentou eficiência média (53%) de acordo com o esperado, ou melhor, já que

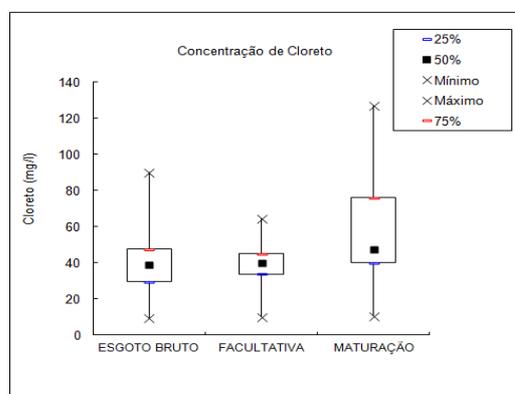
Jordão e Pessoa (2011) citam que sistemas compostos por lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação geralmente apresentam eficiência maior que 40% na remoção de fósforo.

### 5.1.11 Cloreto

A estatística descritiva das concentrações de cloreto ao longo do período de análise, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação, está apresentada na Tabela 5.31. Os percentis foram inseridos em gráficos *box-plot* e apresentados na Figura 5.53.

**Tabela 5.31** - Estatísticas descritivas das concentrações de cloreto, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

CLORETO			
	ESGOTO BRUTO	FACULTATIVA	MATURAÇÃO
Núm dados	52	53	77
Mínimo	10	10	11
Máximo	90	65	127
Coef. Var	0,41	0,31	0,46
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
Média	40	38	58
Mediana	39	40	48
Média geométrica	36	36	51
<b>DISPERSÃO</b>			
Desvio padrão	16	12	27
Méd - 1 desvpad	24	26	31
Méd + 1 desvpad	56	50	84
<b>PERCENTIS</b>			
10%	22	23	32
25%	30	34	40
50%	39	40	48
75%	48	45	76
90%	60	52	98



**Figura 5.53** - Gráficos *Box-plot* da concentração de cloreto ao longo do tratamento – ETE Confins.

A concentração média de cloreto no esgoto bruto do aeroporto (40 mg/L) está de acordo com o esperado para esgotos domésticos. Na classificação de Metcalf e Eddy (1993), essa concentração se situa entre a típica de “esgoto doméstico fraco” (30 mg/L) e “esgoto doméstico forte” (50 mg/L).

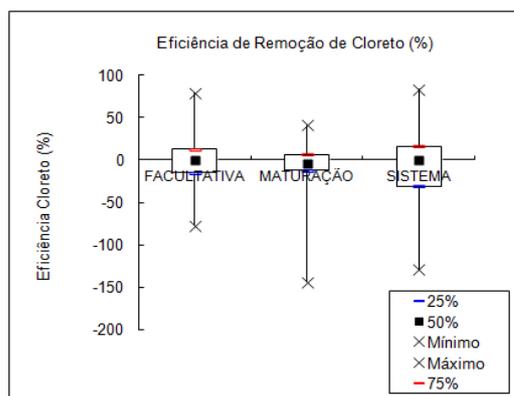
Ao longo do tratamento, não houve redução dos níveis de cloreto. Pelo contrário, de acordo com a Figura 5.53 e a Tabela 5.31, houve um aumento da concentração após a lagoa de maturação.

A Tabela 5.32 reporta as eficiências de remoção do parâmetro por meio de estatística descritiva e a Figura 5.54 apresenta os percentis em gráficos *box-plot*. Percebe-se eficiência média quase nula na lagoa facultativa e negativa na lagoa de maturação.

Uma possível explicação para o aumento da concentração ao longo do tratamento seria a evaporação da água nas lagoas, concentrando o efluente.

**Tabela 5.32** - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de cloreto (%), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins.

	<b>CLORETO</b>		
	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>	<b>SISTEMA</b>
<b>Núm dados</b>	<b>52</b>	<b>48</b>	<b>48</b>
<b>Mínimo</b>	-77	-144	-129
<b>Máximo</b>	79	41	83
<b>Coef. Var</b>	-28,66	-3,59	-4,22
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	-1	-8	-9
<b>Mediana</b>	0	-4	0
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	27	28	39
<b>Méd - 1 desvpad</b>	-28	-36	-48
<b>Méd + 1 desvpad</b>	26	20	30
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	-35	-33	-69
<b>25%</b>	-15	-13	-31
<b>50%</b>	0	-4	0
<b>75%</b>	13	7	16
<b>90%</b>	29	13	25



**Figura 5.54** - Gráficos *Box-plot* da eficiência de remoção de cloreto de cada lagoa e do sistema – ETE Confins.

### 5.1.12 Óleos e Graxas

Óleos e graxas estão sempre presente nos esgotos, podendo provocar obstrução nas redes coletoras e inibição nos processos biológicos de tratamento. Entretanto, quando o teor de óleos e graxas é reduzido, não traz inibição aos tratamentos biológicos; ao contrário, degradam-se em parte, reduzindo ainda mais sua concentração.

Geralmente são provenientes da preparação e uso dos alimentos (óleos vegetais, manteiga, carne, leite) ou sob a forma de óleo minerais derivados do petróleo (querosene, óleos lubrificantes) decorrente de atividades de oficinas, postos de gasolina ou atividades industriais semelhantes.

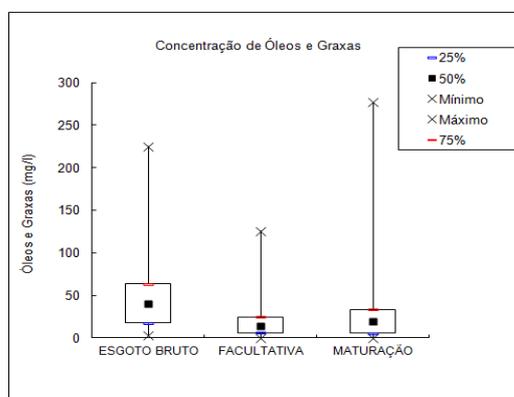
Ambas as situações são comumente verificadas em aeroportos: atividades de restaurantes e lanchonetes nos terminais de passageiros e atividades de manutenção, reparo, abastecimento nos pátios e áreas internas. No caso do AITN, cinco restaurantes e seis lanchonetes estão atualmente em funcionamento. Há também uma oficina de manutenção dos veículos da Infraero e o hangar da GOL linhas aéreas, onde ocorre a manutenção, pintura e reparação de aeronaves. Todas essas atividades podem contribuir com o aporte de óleos e graxas na ETE, mesmo dispendo de pré-tratamento em todos os casos (caixas de gordura nos restaurantes/lanchonetes, caixa separadora de água e óleo na oficina e ETEI no hangar da GOL).

A Tabela 5.33 fornece a estatística descritiva das concentrações de óleos e graxas ao longo do período de análise, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação. Os percentis estão inseridos em gráficos *box-plot* e apresentados na Figura 5.55.

Da mesma forma, a estatística descritiva e os gráficos *box-plot*, com os dados de eficiência de na remoção desse parâmetro, de cada unidade e do sistema, estão apresentados na Tabela 3.34 e Figura 5.56.

**Tabela 5.33** - Estatísticas descritivas das concentrações de óleos e graxas (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

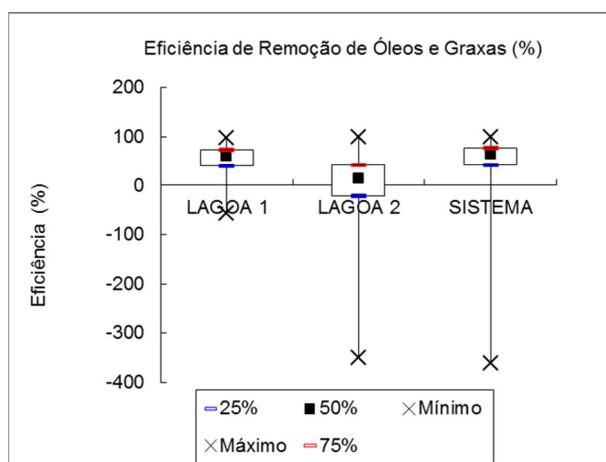
<b>ÓLEOS E GRAXAS</b>			
	<b>ESGOTO BRUTO</b>	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>
<b>Núm dados</b>	<b>152</b>	<b>116</b>	<b>112</b>
<b>Mínimo</b>	4	0	0
<b>Máximo</b>	225	126	277
<b>Coef. Var</b>	0,82	1,14	1,30
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	48	20	27
<b>Mediana</b>	40	14	20
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	40	23	34
<b>Méd - 1 desvpad</b>	9	-3	-8
<b>Méd + 1 desvpad</b>	88	44	61
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	11	3	2
<b>25%</b>	18	6	6
<b>50%</b>	40	14	20
<b>75%</b>	64	25	33
<b>90%</b>	92	39	52



**Figura 5.55** - Gráficos *Box-plot* das concentrações de óleos e graxas ao longo do tratamento – ETE Confins.

**Tabela 5.34** - Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de óleos e graxas (%), para a lagoa facultativa, lagoa de maturação e sistema – ETE Confins.

ÓLEOS E GRAXAS			
	FACULTATIVA	MATURAÇÃO	SISTEMA
<b>Núm dados</b>	117	77	112
<b>Mínimo</b>	-374	-350	-362
<b>Máximo</b>	98	100	100
<b>Coef. Var</b>	1,04	71,97	1,10
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	48	1	50
<b>Mediana</b>	60	13	64
<b>VARIAÇÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	50	69	55
<b>Méd - 1 desvpad</b>	-2	-68	-5
<b>Méd + 1 desvpad</b>	98	70	106
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	5	-52	8
<b>25%</b>	39	-22	41
<b>50%</b>	60	13	64
<b>75%</b>	73	41	77
<b>90%</b>	82	62	90



**Figura 5.56** - Gráficos *Box-plot* das eficiências de remoção de óleos e graxas de cada unidade e do sistema – ETE Confins.

Segundo Jordão e Pessoa (2011), a concentração típica de óleos e graxas no esgoto doméstico é de 100 mg/L, variando entre 50 e 150 mg/L. De acordo com a Tabela 5.33 e Figura 5.55, a concentração de óleos e graxas no esgoto bruto do aeroporto sempre se situou abaixo da média típica, já que os percentis de 10 e 90% foram de 11 e 92 mg/L (média 48 mg/L; mediana 40 mg/L). De acordo com a classificação de Metcal e Eddy (2003), a concentração média foi ainda inferior a típica de “esgoto doméstico fraco” (de 50 mg/L). Ao longo do tratamento, a concentração de óleos e graxa sofreu uma redução significativa na lagoa facultativa e, aparentemente, um ligeiro incremento após a lagoa de maturação.

O Anexo II, que contém os dados de monitoramento da ETEI da GOL, não indica nenhuma contribuição significativa do hangar. A concentração máxima efluente da ETEI foi de 64 mg/L, em julho de 2009.

Em relação às eficiências, observa-se boa eficiência na lagoa facultativa (média de 48%), que responde quase que completamente pela eficiência total do sistema (média 50%).

### **5.1.13 Detergentes**

Genericamente, dá-se o nome de detergente às formulações comerciais compostas de agentes tensoativos e outros aditivos utilizados para a limpeza ou lavagem. O princípio ativo dos detergentes, ou seja, o principal componente que lhe dá a propriedade de “limpeza”, é denominado de surfactante. Além do surfactante, presente nos produtos comerciais na proporção de 10 a 30%, os detergentes contém outros ingredientes, tais como polifosfatos, enzimas, perfumes e corantes (GADELHA, 1986). De acordo com Chernicharo (2007), os surfactantes podem estar presentes em esgotos domésticos, efluentes de lavanderia e de operações de limpeza de indústrias.

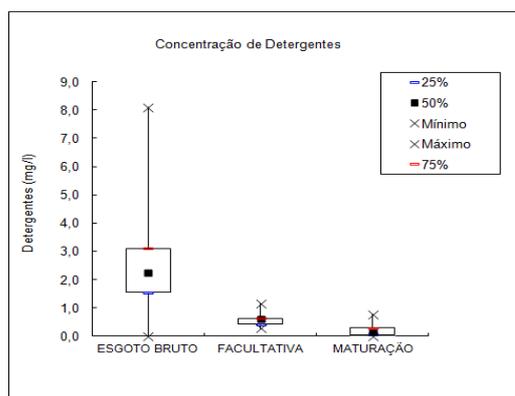
Tais compostos que reagem com o azul de metileno sob certas condições especificadas. Portanto, são designados “substâncias ativas ao azul de metileno” (MBAS – Methylene Blue Active Substances) e suas concentrações são relativas ao sulfonato de alquil benzeno linear (LAS) que é utilizado como padrão na análise.

No caso do AITN, as fontes potenciais de detergentes para o esgoto são os próprios sanitários, as operações de desinfecção na cloaca e o efluente do hangar da GOL. Em nenhum dos casos a contribuição é significativa, conforme pode ser evidenciado na Tabela 5.37 (concentração de detergentes no efluente da cloaca menor que 1,00 mg/L) e Anexo II (concentração máxima de contribuição de detergentes para a rede, no hangar da GOL, foi de 16,93 mg/L, em setembro de 2010). Portanto, é de se esperar que o efluente bruto do aeroporto não apresente concentrações acima do esperado para esgotos domésticos.

A Tabela 5.35 fornece a estatística descritiva das concentrações de detergentes ao longo do período de análise, para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação. Os percentis estão inseridos em gráficos *box-plot* e apresentados na Figura 5.57.

**Tabela 5.35** - Estatísticas descritivas das concentrações de detergentes (mg/L), para o esgoto bruto, efluente da lagoa facultativa e efluente da lagoa de maturação – ETE Confins.

<b>DETERGENTES</b>			
	<b>ESGOTO BRUTO</b>	<b>FACULTATIVA</b>	<b>MATURAÇÃO</b>
<b>Núm dados</b>	<b>145</b>	<b>5</b>	<b>36</b>
<b>Mínimo</b>	0	0	0
<b>Máximo</b>	8,1	1,2	0,8
<b>Coef. Var</b>	0,62	0,54	0,96
<b>TENDÊNCIA CENTRAL</b>			
<b>Média</b>	2,4	0,6	0,2
<b>Mediana</b>	2,2	0,6	0,1
<b>DISPERSÃO</b>			
<b>Desvio padrão</b>	1,5	0,3	0,2
<b>Méd - 1 desvpad</b>	0,9	0,3	0,0
<b>Méd + 1 desvpad</b>	3,9	0,9	0,4
<b>PERCENTIS</b>			
<b>10%</b>	0,7	0,3	0,0
<b>25%</b>	1,6	0,4	0,1
<b>50%</b>	2,2	0,6	0,1
<b>75%</b>	3,1	0,6	0,3
<b>90%</b>	4,1	0,9	0,5



**Figura 5.57** - Gráficos *Box-plot* das concentrações de detergentes ao longo do tratamento – ETE Confins.

O esgoto bruto apresentou concentração média de 2,4 mg/L, abaixo da típica dos esgotos domésticos, citado por Gadelha (1986), de aproximadamente 3 mg/L. Chernicharo (2007) cita a faixa de 1 a 20 mg/L de surfactantes no esgoto doméstico.

Os dados da Tabela 5.35 e Figura 5.57 demonstram remoção contínua de detergentes em ambas as lagoas, com a maior remoção ocorrendo na lagoa facultativa. A eficiência média da ETE foi de 91% na remoção desse parâmetro, bastante satisfatório.

Além de se tratar de um sistema onde ocorrem condições aeróbias (favorável à remoção de detergentes), o elevado TDH do sistema contribuiu com a eficiência. Pesquisa realizada por Ramos e Alem Sobrinho (2002) corrobora tal assertiva, quando foi observado que a elevação do TDH em ETE em escala piloto (tratamento biológico) contribuiu significativamente com a remoção de detergentes.

#### **5.1.14 Relação DBO/N/P**

A relação DBO/N/P é considerada muitas vezes como indicadora da viabilidade do tratamento biológico. Tem sido usual aceitar-se relação em torno de 100/5/1 como necessária para manter um balanço adequado de matéria orgânica e nutrientes para o tratamento biológico, ou seja, 100 mg/L de DBO para 5 mg/L de N para 1 mg/L de P (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

A relação média no esgoto bruto do AITN foi de 235/57/5. Fixando a concentração de DBO em 100 mg/L, e mantidas as proporções, têm-se a relação 100/37/3. Portanto, não há limitações de nutrientes para a atividade biológica.

#### **5.1.15 Fitoplâncton**

Segundo Oliveira (2010), os taxa encontrados em lagoas facultativas ou de maturação podem variar muito, em decorrência de fatores como carga orgânica superficial aplicada, condições operacionais, disponibilidade de luz, concentração de nutrientes e grau de mistura da coluna d'água.

Entretanto, de acordo com von Sperling (2002) e Jordão e Pessôa (2011), os grupos de importância mais comumente encontrados em lagoas de estabilização são cianobactérias e clorofíceas (algas verdes). As clorofíceas conferem à água das lagoas de tratamento coloração esverdeada, estando sempre associadas a altos valores de pH e oxigênio dissolvido. Os principais gêneros são as *Clamydomonas*, *Euglenas* e *Chlorellas*. As cianobactérias predominam em condições de baixo valor de pH e nutrientes (CRUZ, 2005) e os principais gêneros encontrados em lagoas são *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Anacystis* e *Anabaena* (JORDÃO E PESSÔA, 2011).

Outros tipos que podem ser encontrados são Euglenofíceas, Bacilarofíceas e Crisofíceas (KÖNIG, 1984; KÖNIG *et. al.* 2002; MARA *et. al.*, 1992).

Kellner e Pires (1998) listam alguns gêneros de algas presentes nos efluentes de lagoas facultativas e de maturação (Tabela 5.36):

**Tabela 5.36** - Gêneros de algas identificados nos efluentes de lagoas facultativas e de maturação.

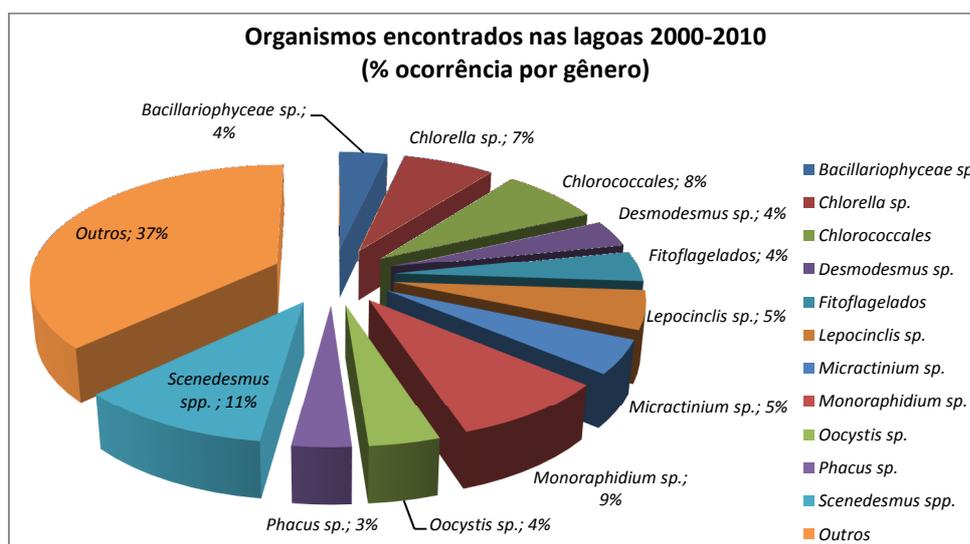
<b>Algas Verdes</b>	<b>Fitoflagelados</b>	<b>Algas Azuis</b>	<b>Diatomáceas</b>
<i>Actinastrum</i>	<i>Carteira</i>	<i>Anabaena</i>	<i>Cyclotella</i>
<i>Ankistrodesmus</i>	<i>Chlamydomonas</i>	<i>Marismopedia</i>	<i>Navicula</i>
<i>Chlorella</i>	<i>Chlorogonium</i>	<i>Microcystis</i>	<i>Nitzschia</i>
<i>Chlorococcum</i>	<i>Euglena</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>Synedra</i>
<i>Closteriopsis</i>	<i>Gumnodinium</i>	<i>Spirulina</i>	
<i>Coelastrum</i>	<i>Hemidinium</i>	<i>Synechocystis</i>	
<i>Coronastrum</i>	<i>Heteronema</i>	<i>Synechococcus</i>	
<i>Crucigenia</i>	<i>Lepocinalis</i>		
<i>Dictyosphaerium</i>	<i>Pandorina</i>		
<i>Golenkinia</i>	<i>Poscheriella</i>		
<i>Micractinium</i>	<i>Peranema</i>		
<i>Nephrochlamys</i>	<i>Peridinium</i>		
<i>Oocystis</i>	<i>Petalomonas</i>		
<i>Planktosphaeria</i>	<i>Phacus</i>		
<i>Protococcus</i>	<i>Synura</i>		
<i>Scenedesmus</i>	<i>Trachelmonas</i>		
<i>Selenastrum</i>			
<i>Tetraedron</i>			
<i>Spherozystis</i>			
<i>Tetraspora</i>			
<i>Tetrastrum</i>			

Fonte: Kellner e Pires (1998)

No Anexo I estão apresentados os dados de cada coleta (data, hora, local, condições do tempo) e os resultados da análise, contendo os organismos identificados e uma classificação qualitativa da frequência na qual esses organismos foram encontrados. O monitoramento de fitoplâncton não foi contínuo e ocorreu nos anos de 2000, 2004, 2005 e de 2007 a 2010. Somente no ano 2000 e em março de 2007 a lagoa de maturação foi monitorada. Os demais dados se referem apenas à amostragem na lagoa facultativa.

Foram 61 campanhas de amostragem ao longo do período de análise, em um total de 303 ocorrências de organismos de 50 gêneros diferentes nas lagoas. Em algumas situações, não foi possível identificar os gêneros e os organismos foram agrupados em ordem (*Chlorococcales*) ou classe (*Bacillariophyceae*).

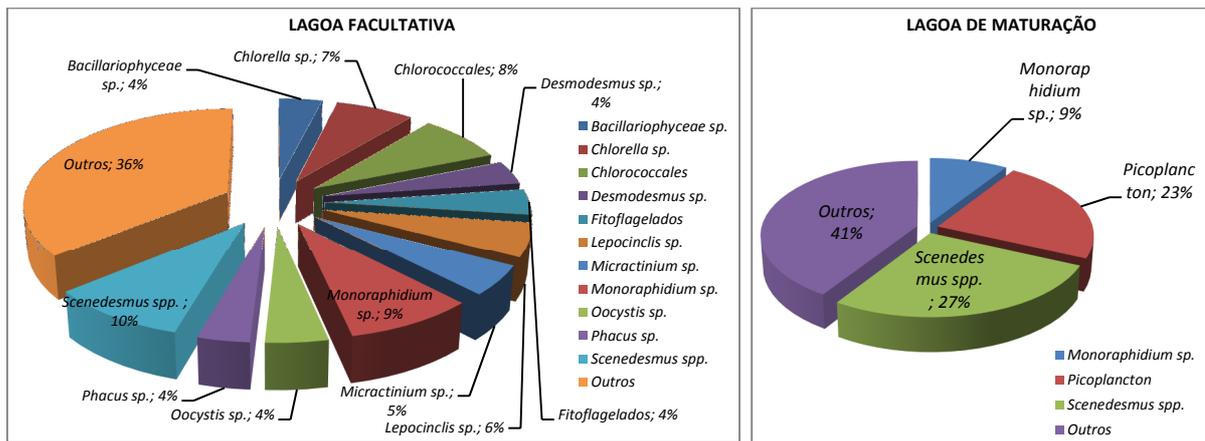
Desses organismos, alguns apareceram com maior frequência nas amostras; a exemplo de *Scenedesmus spp.*, *Monoraphidium sp.*, *Chlorococcales* e *Chlorella sp.* (todos pertencentes ao filo Chlorophyta) que representaram, respectivamente 11%, 9%, 8% e 7% do total das ocorrências. A Figura 5.58 apresenta os percentuais ocupados pelos organismos mais frequentemente observados nas lagoas, os demais organismos (menores frequências) foram agrupados na categoria “Outros”.



**Figura 5.58** - Organismos encontrados nas lagoas facultativa e de maturação (% de ocorrência por gênero) – ETE Confins.

Na pesquisa realizada por Santos (2003), com lagoa de pós-tratamento na ETE-Juramento (MG), os gêneros mais frequentes foram *Euglena* e *Phacus*, estando presente em 83% das amostras. Esses gêneros não foram registrados com muita frequência na presente pesquisa.

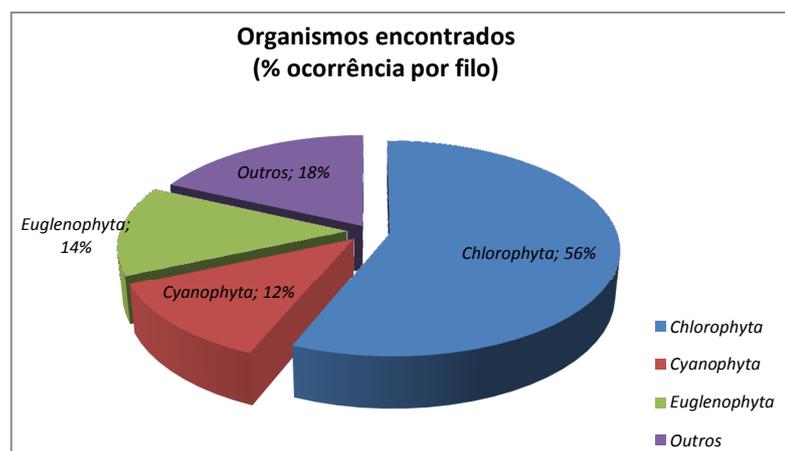
Dos 303 dados, 281 foram do monitoramento da lagoa facultativa e 22 da lagoa de maturação. Se considerados separadamente, os dados de distribuição percentual das ocorrências em cada lagoa resultam nos gráficos apresentados na Figura 5.59:



**Figura 5.59** - Organismos encontrados nas lagoas facultativa e de maturação (% de ocorrência por gênero) – ETE Confins.

Na lagoa de maturação, em quase todas as campanhas de amostragem observou-se a presença de picoplâncton, que são os menores organismos do plâncton. Apesar de serem apenas 22 registros, foram observadas mais ocorrências de picoplâncton na lagoa de maturação que na lagoa facultativa, onde se tem 281 registros. Os gêneros mais frequentes (*Scenedesmus spp.* e *Monoraphidium sp.*) foram os mesmo da lagoa facultativa.

Portanto, a partir do exposto, torna-se evidente a predominância de algas do filo Chlorophyta nas lagoas. Corroborar tal assertiva a Figura 5.60, a qual apresenta a distribuição percentual dos organismos nas lagoas por filo. Possivelmente, os altos valores de pH nas lagoas e a baixa carga afluente de matéria orgânica propiciaram tal condição.



**Figura 5.60** - Organismos encontrados nas lagoas facultativa e de maturação (% de ocorrência por filo) – ETE Confins.

A partir da Figura 5.60, têm-se que 56% dos organismos encontrados pertencem ao filo Chlorophyta, 14% pertencem ao filo Euglenophyta e 12% ao filo Cyanophyta, perfazendo

82% do total das ocorrências. Durante todo o período de monitoramento foi observada a predominância desses três filos.

Cruz (2003), estudando lagoas facultativas em regime de batelada, operando com diferentes cargas orgânicas em Vitória (ES), mostrou uma diferença significativa dos gêneros de algas presentes nas lagoas de alta carga, média carga e baixa carga. Os gêneros mais frequentes na lagoa de alta carga nos primeiros dias de operação foram aqueles que toleram elevadas concentrações de matéria orgânica, como *Oscillatoria sp.*, *Euglena sp.* e *Chlamydomonas sp.*, tendo as classes Cyanophyceae e Chlorophyceae predominantes durante todo o tempo de estudo. Nos outros dois tratamentos (média e baixa cargas) os representantes da classe Chlorophyceae predominaram durante todo o tempo de operação da lagoa. Posteriormente, o mesmo autor (CRUZ, 2005), avaliando a comunidade fitoplanctônicas em uma lagoa de polimento, registrou que as clorofíceas representaram a classe com maior número de táxons em relação ao número total de táxons (55 %), seguidas das cianofíceas (32 %), das euglenofíceas (9 %) e das bacilariofíceas (4 %).

De fato, os resultados da presente pesquisa são semelhantes aos obtidos pelo autor, já que constatou-se também maior ocorrência de clorofíceas e a carga aplicada às lagoas é baixa (item 5.1.8.3).

As clorofíceas também foram predominantes na ETE-Camburi no Estado do Espírito Santo (Barroso *et al.*, 1997) e na ETE-Guarabira no Estado da Paraíba (KÖNIG *et al.*, 1999).

Já Oliveira (2010) registrou predominância de cianofíceas na lagoa facultativa secundária na ETE-Mangabeira, em João Pessoa-PB. A predominância das cianofíceas sobre as clorofíceas ocorreu mesmo tendo a lagoa operado a baixa carga (cerca de 40 kgDBO/ha.d). As demais classes foram raras ou ocasionais.

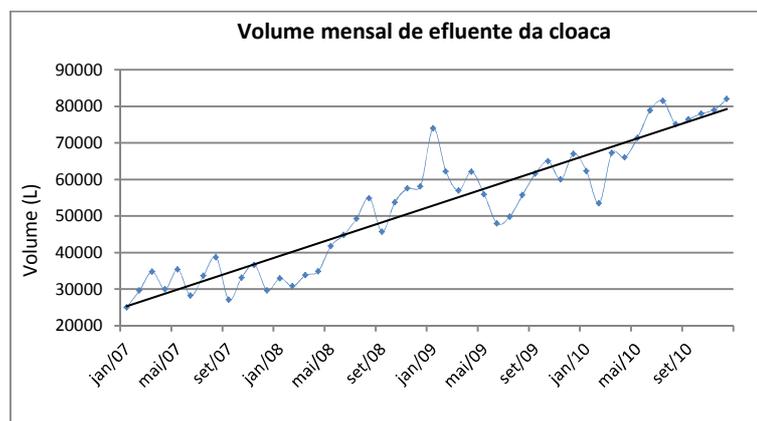
Segundo Jordão e Pessoa (2011), as clorofíceas indicam uma boa condição de funcionamento das lagoas.

#### **5.1.16 Efluente da cloaca**

A estimativa do volume de efluente lançado na cloaca conduziu à média de 1743 L/d (ou 52278 L/mês ou 627338 L/ano), baseado na compilação de dados de 2007 a 2010 (dados

disponíveis). Conforme já comentado, o efluente é oriundo das instalações sanitárias das aeronaves e contém desinfetantes em sua composição.

Com o crescimento da movimentação de passageiros houve também aumento da frequência de operações na cloaca. A evolução do volume mensal de lançamento está apresentado na Figura 5.61 abaixo:



**Figura 5.61** - Evolução do volume mensal de lançamento do efluente sanitário das aeronaves na cloaca do AITN – Confins - MG.

Após pesquisa em cada uma das empresas responsáveis pela operação de QTU, constatou-se que o produto (desinfetante) utilizado nas aeronaves - e o mesmo utilizado na própria limpeza do veículo - é o BG 62®, cuja Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ - encontra-se no Anexo III. Basicamente, trata-se de um produto a base de compostos de amônia (Cloro de Alquil Dimetil Benzil Amônio) e fenol (Nonil Fenol Etoxilado), de forte poder bactericida.

A caracterização físico-química do efluente conduziu aos valores de concentração apresentados na Tabela 5.37. Na mesma tabela, os valores são comparados com concentrações típicas de esgotos domésticos, de acordo com a literatura.

**Tabela 5.37** - Caracterização físico-química do efluente da cloaca do AITN – Confins - MG.

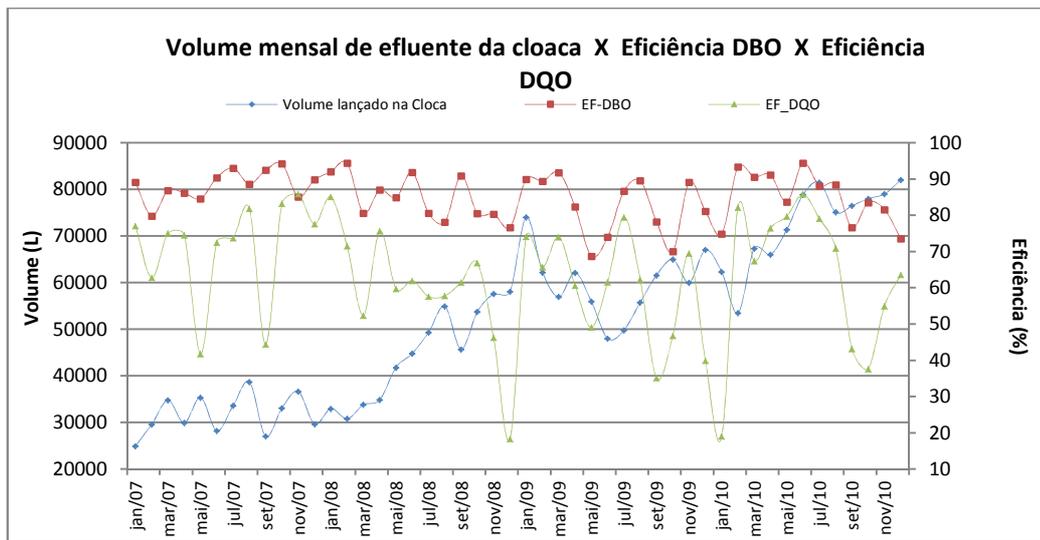
VARIÁVEIS	UNIDADE	RESULTADO	REFERÊNCIA DE LITERATURA*
pH	-	<b>9,1</b>	6,7 a 8,0 (VON SPERLING, 2005a)
Temperatura	°C	<b>24</b>	-
DBO	mgO <sub>2</sub> /L	<b>1833</b>	250 a 400 (VON SPERLING, 2005a)
DQO	mgO <sub>2</sub> /L	<b>8652</b>	450 a 800 (VON SPERLING, 2005a)
SST	mg/L	<b>4530</b>	200 a 450 (VON SPERLING, 2005a)
SSF	mg/L	<b>390</b>	40 a 100 (VON SPERLING, 2005a)
SSV	mg/L	<b>4140</b>	165 a 350 (VON SPERLING, 2005a)
NTK	mg/L	<b>1682,4</b>	-
N-NH <sub>3</sub>	mg/L	<b>1540,4</b>	20 a 35 (VON SPERLING, 2005a)
NO <sub>3</sub>	mg/L	<b>4,35</b>	0 a 1 (VON SPERLING, 2005a)
Fenóis	mg/L	<b>4,12</b>	-
Óleos e Graxas	mg/L	<b>173</b>	50 a 150 (JORDÃO e PESSÔA, 2011)
Fósforo Total	mg/L	<b>192,3</b>	4 a 15 (VON SPERLING, 2005a)
Detergentes/Surfactantes	mg/L	<b>&lt;1,00</b>	1 a 20 (CHERNICHARO, 2007)

\* Para esgotos domésticos brutos

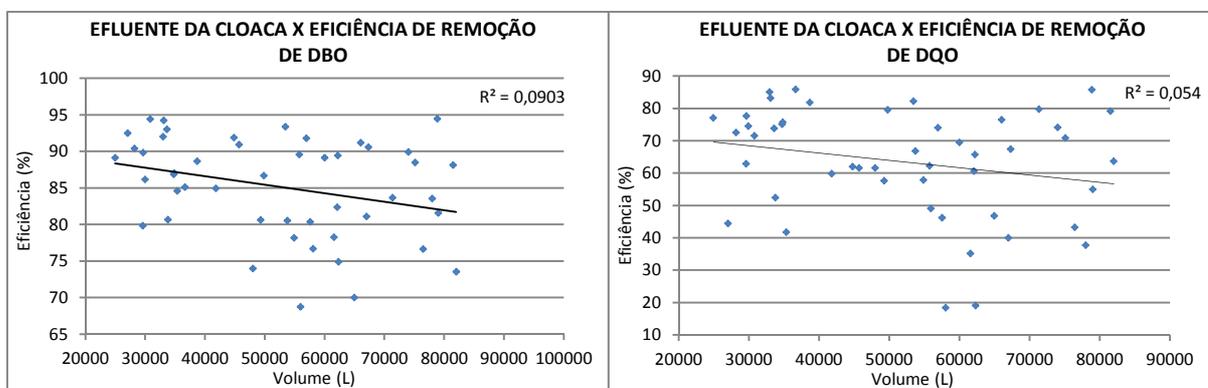
Observando a Tabela 5.37, é possível constatar que, exceto para Detergentes/Surfactantes, todos os parâmetros analisados apresentaram concentrações superiores à faixa típica de esgotos domésticos citada na literatura (para a maioria parâmetros, a concentração foi bastante superior), o que caracteriza o efluente como predominantemente industrial. A elevada relação DQO/DBO, de 4,7, também caracteriza o efluente como de elevada fração inerte, com possível indicação para o tratamento físico-químico (VON SPERLING, 2005a). Os elevados teores de sólidos pode ser devido à grande quantidade de papel no efluente, percebido durante a coleta das amostras.

Apesar de apresentar tais características, o efluente da cloaca não impacta significativamente a qualidade do esgoto que chega à ETE, que se assemelha a esgotos domésticos mais diluídos. Entretanto, nota-se que o efluente final do aeroporto (afluente à ETE) apresentou concentrações superiores à faixa típica de esgotos domésticos para nitrogênio amoniacal, muito provavelmente devido a elevada proporção de mictórios (urina) no aeroporto, quando comparada a residências. Soma-se a isso a pouca contribuição de chuveiros no aeroporto. Concentrações de nitrogênio amoniacal superiores à típica também foram relatadas por Liu *et al.* (2007) no aeroporto de Qingdao, China.

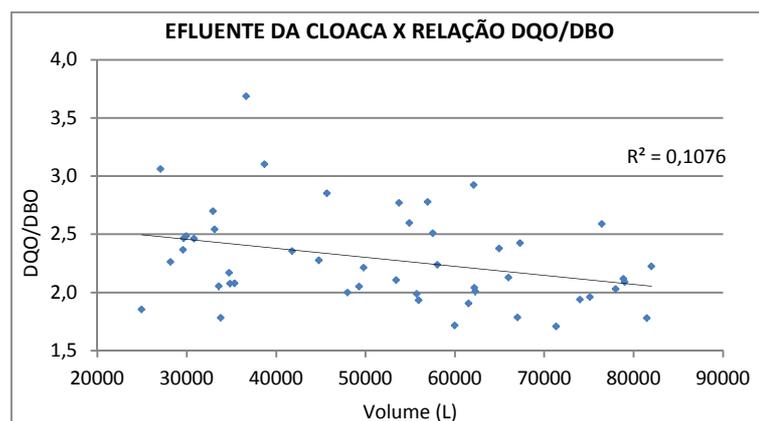
As figuras a seguir (figuras 5.62 a 5.64) apresentam uma comparação entre volumes de lançamento e parâmetros relacionados a biodegradabilidade do efluente e/ou eficiência do sistema.



**Figura 5.62** - Séries temporais do volume mensal de lançamento do efluente da cloaca do AITN e eficiências da ETE na remoção de DBO e DQO.



**Figura 5.63** - Volume mensal de lançamento do efluente da cloaca do AITN *versus* eficiência da ETE na remoção de DBO e DQO.



**Figura 5.64** - Volume mensal de lançamento do efluente da cloaca do AITN *versus* relação DQO/DBO do esgoto bruto.

A partir das informações apresentadas, não foi possível observar nenhuma relação significativa entre aporte de efluente da cloaca na ETE com a biodegradabilidade do esgoto

ou eficiência das lagoas. Entretanto, as figura 5.62 e 5.63 sugerem tendência de queda de eficiência quando do aumento do volume que chega a ETE, apesar dos baixos valores de R<sup>2</sup>.

Para efeito de comparação com a vazão total afluyente à ETE, têm-se que, caso o volume de lançamento mensal na cloaca fosse escrito em termos de vazão (em L/s, por exemplo), a relação  $Q_{\text{cloaca}}/Q_{\text{total}}$  seria da ordem de 0,0045 ou 4,5% (média dos dados de 2007 a 2010).

### 5.1.17 Coeficientes de remoção de DBO (K) e de coliformes (K<sub>b</sub>)

Os valores dos coeficientes de remoção de DBO (K) e de decaimento bacteriano (K<sub>b</sub>) em uma lagoa são sempre calculados em função do modelo hidrodinâmico assumido, sendo que grande parte das referências da literatura reporta os valores de K e K<sub>b</sub> para o modelo de mistura completa.

Para lagoas com regime tendendo ao fluxo em pistão e mistura completa, e considerando as reações de degradação de DBO e decaimento de coliformes como de primeira ordem, o K ou K<sub>b</sub> deve ser calculado por meio das Equações 5.16 e 5.17:

Fluxo em pistão:

$$k = \frac{1}{t} \ln \left( \frac{C_o}{C_e} \right) \quad (5.16)$$

Mistura completa:

$$k = \frac{1}{t} \left( \frac{C_o}{C_e} - 1 \right) \quad (5.17)$$

onde:

k = coeficiente de degradação de DBO (K) ou coeficiente de decaimento bacteriano (K<sub>b</sub>)

C<sub>o</sub> = Concentração afluyente de DBO (mg/L) ou coliformes (org/100mL)

C<sub>e</sub> = Concentração efluyente de DBO (mg/L) ou coliformes (org/100mL)

t = tempo de detenção hidráulica (d)

Esses regimes são idealizados. Na prática, todas as lagoas operam em regime de fluxo disperso, condição intermediária entre os dois primeiros. Nesse caso, o K ou K<sub>b</sub> não é

explícito na equação do modelo de fluxo disperso e sua obtenção demanda utilização de métodos iterativos. A equação está apresentada abaixo:

$$C = C_o \cdot \frac{4ae^{1/2d}}{(1+a)^2 e^{a/2d} - (1-a)^2 e^{-a/2d}} \quad (5.18)$$

Sendo:

$$a = \sqrt{1 + 4.k.t.d} \quad (5.19)$$

e

d = número de dispersão (adimensional)

C<sub>o</sub> = Concentração afluyente de DBO (mg/L) ou coliformes (org/100mL)

C<sub>e</sub> = Concentração efluente de DBO (mg/L) ou coliformes (org/100mL)

t = tempo de detenção hidráulica (d)

k = coeficiente de degradação de DBO (K) ou coeficiente de decaimento bacteriano (K<sub>b</sub>)

Para utilização do modelo hidráulico de fluxo disperso em projetos, o coeficiente de remoção de DBO (K) pode ser obtido através das relações empíricas desenvolvidas por Arceivala (1981) e Vidal (1983) *apud* von Sperling (2002), estas expressas nas Equações 5.20 e 5.21, respectivamente:

$$K = 0,132.\log L_s - 0,146 \quad (5.20)$$

$$K = 0,091 + 2,05 \times 10^{-4} . L_s \quad (5.21)$$

onde:

L<sub>s</sub> = Taxa de Aplicação Superficial (kgDBO/ha.d)

De forma análoga, para estimativa do K<sub>b</sub> segundo o modelo de fluxo disperso pode-se fazer uso das Equações 5.22 e 5.23, obtidas, respectivamente, por meio de análise de dados de 33

lagoas facultativas e de maturação no Brasil (VON SPERLING, 1999) e 186 lagoas no mundo (VON SPERLING, 2005):

$$K_b = 0,917.H^{-0,877}.t^{-0,329} \quad (5.22)$$

$$K_b = 0,549.H^{-1,456} \quad (5.23)$$

onde:

H = Profundidade da lagoa (m)

t = tempo de detenção hidráulica (d)

Para temperaturas diferentes de 20°, o K ou K<sub>b</sub> pode ser corrigido por meio da Equação 5.24:

$$K_T = K_{20}.\theta^{(T-20)} \quad (5.24)$$

Em que:

K<sub>T</sub> = Valor de K ou K<sub>b</sub> em uma temperatura do líquido T qualquer (d<sup>-1</sup>)

K<sub>20</sub> = Valor de K ou K<sub>b</sub> na temperatura do líquido de 20° (d<sup>-1</sup>)

θ = coeficiente de temperatura

Vale destacar que diferentes valores do coeficiente de temperatura (θ) são propostos na literatura, variando de acordo com o modelo assumido e até mesmo para diferentes valores de K ou K<sub>b</sub>.

No presente trabalho, a lagoa facultativa possui relação L/B em torno de 1,4, aproximando-se de um reator de mistura completa (formato mais próximo de um quadrado). Já a lagoa de maturação apresenta relação L/B de aproximadamente 3,5, mais característica de reatores tendendo ao regime de fluxo em pistão. Tais constatações foram confirmadas quando da avaliação do modelo hidrodinâmico, apresentado posteriormente.

Os dados de monitoramento de DBO na ETE dizem respeito a DBO total, afluyente e efluente, o que inviabilizaria a utilização das Equações 5.16, 5.17 e 5.18 para estimativa do coeficiente K, que deve ser feita com base na DBO total afluyente e DBO solúvel efluente. Entretanto,

feita tal ressalva, registram-se aqui os valores de K obtidos para os dois modelos teóricos e para o modelo de fluxo disperso (Tabela 5.38), considerando o TDH médio e as concentrações afluente e efluente média. Da mesma forma, a Tabela 5.39 apresenta os valores de  $K_b$  considerando os três modelos. Para o regime de fluxo disperso, o K e  $K_b$  foram obtidos pelo método de tentativa e erro, até se chegar à convergência da concentração efluente. O número de dispersão (d) foi obtido a partir do modelo em CFD (resultados apresentados posteriormente, no item 5.4.2.3), correspondendo a 0,28 para a lagoa facultativa e 0,039 para a lagoa de maturação.

**Tabela 5.38** - Valores de K ( $d^{-1}$ ), para a lagoa facultativa e lagoa de maturação, considerando os regimes de fluxo em pistão, mistura completa e fluxo disperso – ETE Confins.

K (DBO) – 20 °C					
FACULTATIVA			MATURAÇÃO		
Fluxo em pistão	Mistura completa	Fuxo disperso	Fluxo em pistão	Mistura completa	Fluxo disperso
0,009	0,025	0,0125	-0,006	-0,006	-

**Tabela 5.39** - Valores de  $K_b$  ( $d^{-1}$ ), para a lagoa facultativa e lagoa de maturação, considerando os regimes de fluxo em pistão e mistura completa e fluxo disperso – ETE Confins.

$K_b$ – 20 °C					
FACULTATIVA			MATURAÇÃO		
Fluxo em pistão	Mistura completa	Fuxo disperso	Fluxo em pistão	Mistura completa	Fluxo disperso
0,043	18,726	-	0,175	1,098	0,614

No caso da lagoa facultativa, a Tabela 5.38 indica valores de K bem inferiores aos reportados na literatura. Para o caso mais frequente do dimensionamento segundo o modelo de mistura completa, von Sperling (2002), baseado em várias referências, cita a faixa de 0,30 a 0,40  $d^{-1}$  em lagoas primárias, valores bem superiores ao valor de K obtido na lagoa facultativa para o mesmo modelo, de 0,025  $d^{-1}$ . O valor de  $K_b$  no regime de mistura completa (18,7  $d^{-1}$ ) foi superior ao usual (Tabela 5.39).

Valores elevados de  $K_b$  foram relatados por Rocha (2002), avaliando uma lagoa facultativa pós reator UASB (média para regime de mistura completa de 22,7  $d^{-1}$ ). Ademais, von Sperling (1999), por meio de extensa revisão em literatura nacional e internacional, registrou valores variando de 0,2 a 43,6  $d^{-1}$ .

Em relação à lagoa de maturação, os valores de K na Tabela 5.38 não permitiram qualquer possível conclusão sobre a cinética de remoção de DBO (valores negativos). Em relação ao  $K_b$ , no caso mais frequentemente encontrado - regime de mistura completa - von Sperling (2002) cita a faixa típica de 0,6 a 1,2  $d^{-1}$  para lagoas de maturação; o valor obtido para a lagoa de maturação se situou dentro dessa faixa (1,098  $d^{-1}$ ).

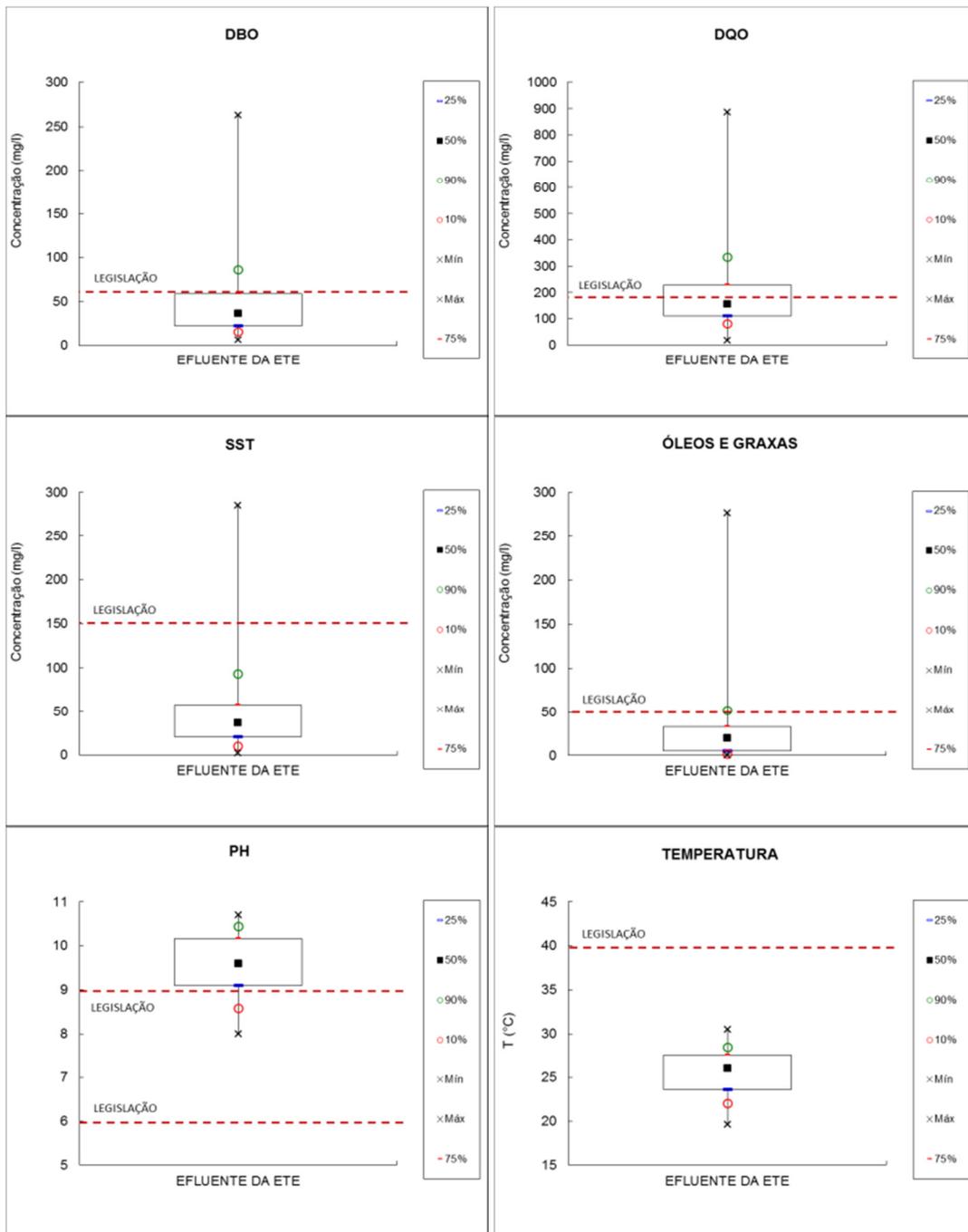
Percebe-se, pelas tabelas, ocorrências de valores negativos e também valores muito grandes. Os elevados valores de TDH nas lagoas, o fato de a DBO efluente ser contabilizada como DBO total e a ocorrência de eficiências negativas contribuem com tais inconsistências.

Para o regime de fluxo disperso, apenas o valor de K na lagoa facultativa (0,0125) e o valor de  $K_b$  na lagoa de maturação (0,614) convergiram e foram apresentados nas tabelas 5.38 e 5.39. A aplicação das Equações 5.20 e 5.21 (para estimativa inicial do coeficiente K do modelo de fluxo disperso tendo por base a TAS) resultaram nos valores de 0,071 (com a aplicação da Equação 5.20) e 0,091 (com a aplicação da Equação 5.21) para a lagoa facultativa. Nota-se que o K, obtido para o modelo de fluxo disperso, foi menor que o previsto por essas equações da literatura. Já a aplicação da Equação 5.23 para estimativa do  $K_b$  na lagoa de maturação resultou no valor de 0,421, inferior ao obtido por meio do modelo de fluxo disperso (0,614).

### **5.1.18 Cumprimento da Legislação**

Como a legislação estadual em vigor em Minas Gerais (Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01, de 05 de maio de 2008) apresenta-se mais restritiva que a legislação federal em vigor (CONAMA n° 430 de maio de 2011), no que diz respeito aos padrões de lançamento de efluentes, faz-se desta a base para o atendimento.

A Figura 5.65 apresenta os percentis, em gráficos *box-plot*, com as concentrações e valores na saída da ETE dos parâmetros a serem atendidos para o lançamento de efluentes, de acordo com a norma estadual. A linha vermelha em cada gráfico indica o limite máximo de lançamento, sendo que, para os valores de pH, as linhas vermelhas indicam a faixa de lançamento (mínimo e máximo).



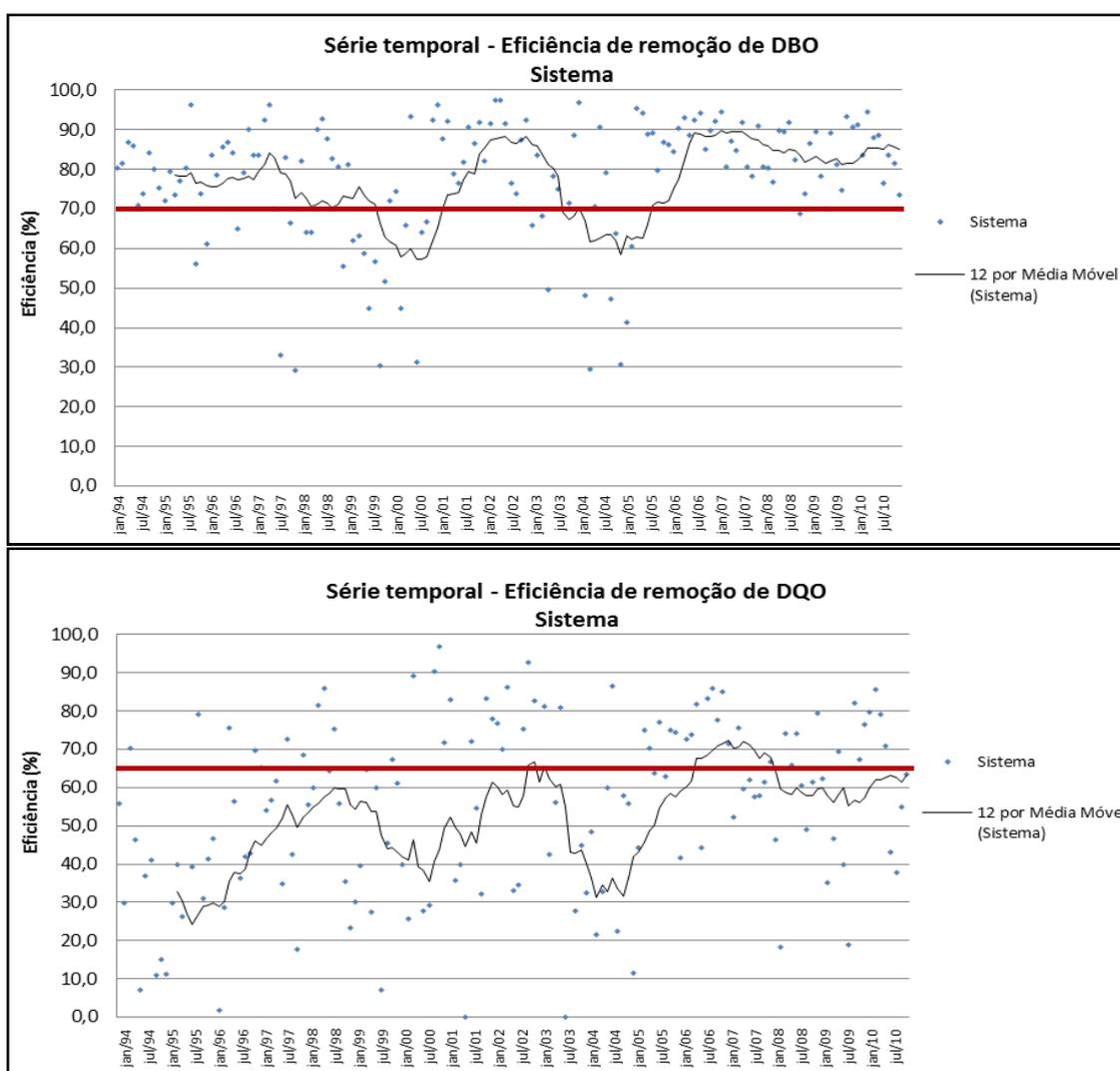
**Figura 5.65** - Gráficos *box-plot* com as concentrações de DBO, DQO, SST, Óleos e Graxas, pH e Temperatura – efluente da ETE Confins.

Importante destacar que, como se trata de Estação de Tratamento de Esgotos sanitários, há uma flexibilidade quanto ao critério de atendimento da legislação em relação à DBO e DQO:

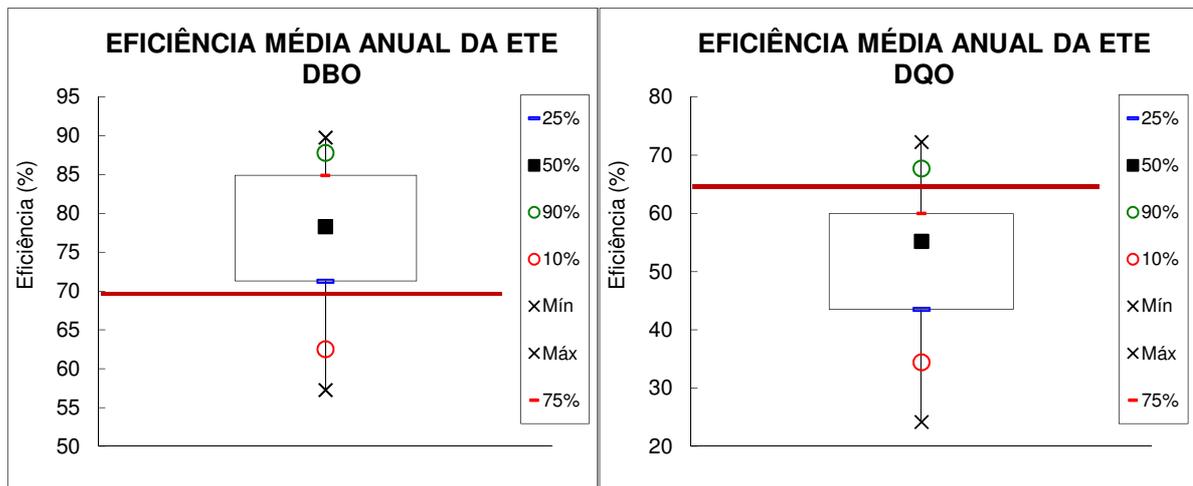
- Para DBO, deve-se obedecer o limite máximo de 60 mg/L ou apresentar eficiência de remoção de DBO em no mínimo 60% e média anual igual ou superior a 70%.

- Para DQO, deve-se obedecer o máximo de 180 mg/L ou apresentar eficiência mínima de 55% e média anual igual ou superior a 65%.

De forma a complementar a análise desses dois parâmetros, as figuras 5.66 e 5.67 apresentam as série históricas com as eficiências da ETE na remoção de DBO e DQO, com média móvel de 12 termos representando a progressão da média anual (Figura 5.66) e os gráficos *box-plot* com os percentis dos dados de eficiência média anual. A linha vermelha corresponde à média anual mínima a ser atingida em cada caso.



**Figura 5.66** - Série histórica, com média móvel anual, da eficiência da ETE na remoção de DBO e DQO, sendo a linha vermelha a eficiência mínima a ser atingida.



**Figura 5.67** - Gráficos *box-plot*, com média móvel anual, da eficiência da ETE na remoção de DBO e DQO, sendo a linha vermelha a eficiência mínima a ser atingida.

A partir dos dados apresentados, têm-se as considerações abaixo acerca do atendimento aos padrões de lançamento de cada parâmetro citado.

#### 5.1.18.1 DBO

- De acordo com a Figura 5.65, 75% dos dados de concentração de DBO do efluente estão dentro do padrão, portanto, inferiores à máxima permitida (60 mg/L).
- Considerando todo o período de monitoramento, a eficiência média de remoção de DBO apresentada pela ETE foi de 77% (Tabela 5.18), superior à mínima de 60%.
- Na maioria do tempo, a média anual da eficiência de remoção de DBO permaneceu acima da mínima (70%), sendo que em dois períodos, de aproximadamente um ano cada, a média anual da ETE permaneceu abaixo desse valor (Figura 5.66). O gráfico *box-plot*, apresentado na Figura 5.67, indica que mais de 75% dos dados de média anual corresponderam a eficiências médias anuais acima de 70% .

#### 5.1.18.2 DQO

- De acordo com a Figura 5.65, pouco mais de 50% dos dados de concentração de DQO do efluente do sistema estão dentro do padrão, portanto, inferiores à máxima permitida (180 mg/L).

- Considerando todo o período de monitoramento, a eficiência média de remoção de DQO apresentada pela ETE foi de 52% (Tabela 5.18), inferior à mínima de 55%.

- Na maioria do tempo, a média anual da eficiência de remoção de DQO permaneceu abaixo da mínima (65%), sendo que em apenas um período, de aproximadamente um ano, a média se situou acima desse valor (Figura 5.66). O gráfico *box-plot*, apresentado na Figura 5.67, indica que quase 90% dos dados de média anual corresponderam a eficiências médias anuais menores que 65% .

Importante considerar que as análises de DBO e DQO feitas no presente trabalho foi global, não se considerando os dados isoladamente. Portanto, como exemplo: no caso de um não atendimento do padrão de lançamento em um determinado mês, não foi observada a eficiência no próprio mês a fim de se concluir a respeito do atendimento à legislação. Ainda, é importante ressaltar que os dados de DBO e DQO se referem a DBO total e DQO total, sendo, portanto, os sólidos suspensos (ex: algas no efluente) contabilizados como tal.

#### 5.1.18.3 SST

- De acordo com a Figura 5.65, mais de 90% dos dados de concentração de SST do efluente estão dentro do padrão, portanto, inferiores à máxima permitida (150 mg/L no caso de lagoas de estabilização).

#### 5.1.18.4 Óleos e Graxas

- De acordo com a Figura 5.65, 90% dos dados de concentração de óleos e graxas do efluente estão dentro do padrão, portanto, inferiores à máxima permitida (50 mg/L, para óleos vegetais e gorduras animais).

Foi considerado o padrão de 50 mg/L, já que a maior contribuição de óleos e graxas na ETE vem das atividades de preparo e manuseio de alimentos nas lanchonetes e restaurantes do aeroporto.

#### 5.1.18.5 pH

- De acordo com a Figura 5.65, menos de 25% dos dados de pH do efluente estão dentro do padrão (entre 6 e 9).

Cabe ressaltar que, por se tratar de um sistema de lagoas, cuja última unidade é uma lagoa de maturação, é de se esperar altos valores de pH no efluente do sistema. De fato, o efluente da lagoa de maturação chega a atingir valores de pH de até 11 e dificilmente atingirá o limite apontado pela legislação.

#### 5.1.18.6 Temperatura

- De acordo com a Figura 5.65, todos os dados de temperatura do efluente permaneceram dentro do padrão (menor que 40°C).

Para alguns outros parâmetros (*E. coli*, oxigênio dissolvido, fósforo total), a legislação não define padrões de lançamento e sim padrões da classe na qual o corpo receptor está enquadrado, que não devem ser ultrapassados após o lançamento do efluente. Na presente pesquisa, não foram realizadas análises da qualidade da água do corpo receptor e nem foram encontrados sequer dados secundários a respeito, tornando impossível a tarefa de se concluir sobre o atendimento aos padrões da classe. Entretanto, em relação à concentração efluente de *E. coli*, percebe-se que a média geométrica do efluente da ETE, de  $3,06 \times 10^2$  NMP/100mL, por si só já é próxima ao padrão do corpo receptor – Classe 1 ( $2 \times 10^2$  NMP/100mL).

## 5.2 **Avaliação hidrodinâmica – Ensaio de campo**

### 5.2.1 Velocidade e direção predominante dos ventos

A Tabela 5.40 apresenta a média da velocidade do vento em cada direção na área da ETE, bem como a velocidade média para a direção predominante do vento na superfície da lagoa, esta medida em um barco ancorado no centro geométrico de cada unidade.

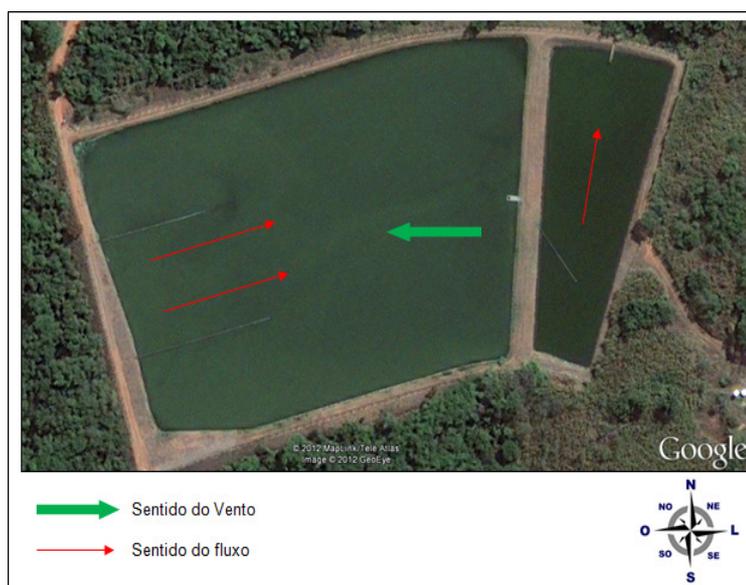
**Tabela 5.40** - Velocidade média do vento (km/h) na ETE Confins – Medições de campo.

Velocidade média nas bordas das lagoas (km/h)	Norte (N)	Sul (S)	Leste (L)	Oeste (W)	Nordeste (NE)	Noroeste (NO)	Sudeste (SE)	Sudoeste (SO)
	1,1	4,2	4,5	3,0	2,5	2,4	3,3	2,2
Velocidade média na superfície das lagoas (km/h) para o sentido predominante	Lagoa facultativa			Lagoa de maturação				
	10,5 (sentido oeste)			8,0 (sentido oeste)				

Nota-se que as velocidades do vento na superfície das lagoas mostraram-se superiores às medidas nas bordas. A velocidade média dos ventos na plataforma aeroportuária, apresentada

na Tabela 5.40, foi de 5,1 nós (9,4 km/h), valor superior aos registrados nas bordas das lagoas e próximo aos valores encontrados na superfície (meio da lagoa). Os valores medidos nas bordas podem ter sofrido maior influência do relevo ou da proximidade das árvores, fatores que são minimizados quando a medição ocorre na região central das lagoas, com maior área livre ao redor (assim como ocorre na plataforma aeroportuária).

Foi observado que os ventos predominantes sopram para oeste, no sentido contrário à direção do efluente na lagoa facultativa (da saída para a entrada) e no sentido perpendicular ao fluxo na lagoa de maturação. A Figura 5.68 ilustra essa direção em planta.



**Figura 5.68** - Sentido do vento na superfície das lagoas na ETE Confins.

Segundo alguns autores, a direção predominante dos ventos contrária ao fluxo é favorável do ponto de vista hidrodinâmico, já que diminui as chances de ocorrência de curtos-circuitos. Banda *et. al.* (2006a), por exemplo, ao realizarem modelagem de uma lagoa de estabilização em CFD, concluíram que a locação da lagoa no sentido contrário dos ventos resultaria em melhor desempenho da lagoa na remoção de *E. coli*.

De fato, a lagoa facultativa apresentou ótimo desempenho na remoção de *E. coli*. Mesmo os resultados apresentados não sendo, de forma alguma, suficientes para permitir uma associação direta, o vento contrário pode estar auxiliando nesse bom desempenho, de acordo com a teoria desses autores. Importante salientar que outros fatores são reconhecidamente de maior importância, como o TDH (que é bastante elevado na lagoa facultativa)

### 5.2.2 Ensaio com corante

O corante lançado na calha *Parshall* demorou 1 minuto e 29 segundos para chegar ao primeiro PV da lagoa facultativa (entrada sul). O PV foi aberto para permitir a observação da passagem do corante, sendo constatado que o mesmo conta com um sistema de *stop-logs* para distribuição da vazão afluyente entre as duas entradas. A vazão não estava sendo distribuída de maneira igualitária entre as duas entradas. Após rápida observação, estimou-se que cerca de 80% da vazão é direcionada ao próximo PV (tubulação de entrada norte), por inércia do fluido. A Figura 5.69 demonstra o momento de chegada do corante no PV e a distribuição de vazão por meio de *stop-logs*.



**Figura 5.69** - Chegada do corante no primeiro PV da lagoa facultativa e distribuição da vazão – ETE Confins.

Após passagem do corante pelos dois PV, esperava-se que o mesmo surgisse na superfície da lagoa logo em seguida, o que não ocorreu. Devido à grande distância das bordas da lagoa e do ponto de observação (situado em um local alto), bem como os efeitos do reflexo do sol, não foi possível a visualização do corante quando do seu surgimento, que se deu na forma de pequenas manchas (Figura 5.70). Com a ajuda dos remos do barco, a região de entrada do efluente foi perturbada e imediatamente o corante apareceu com coloração bem intensa, sugerindo que o mesmo estava concentrado em uma camada imediatamente abaixo da superfície (Figura 5.71).



**Figura 5.70** - Surgimento do corante na lagoa facultativa (esquerda) e de maturação (direita) – ETE Confins.



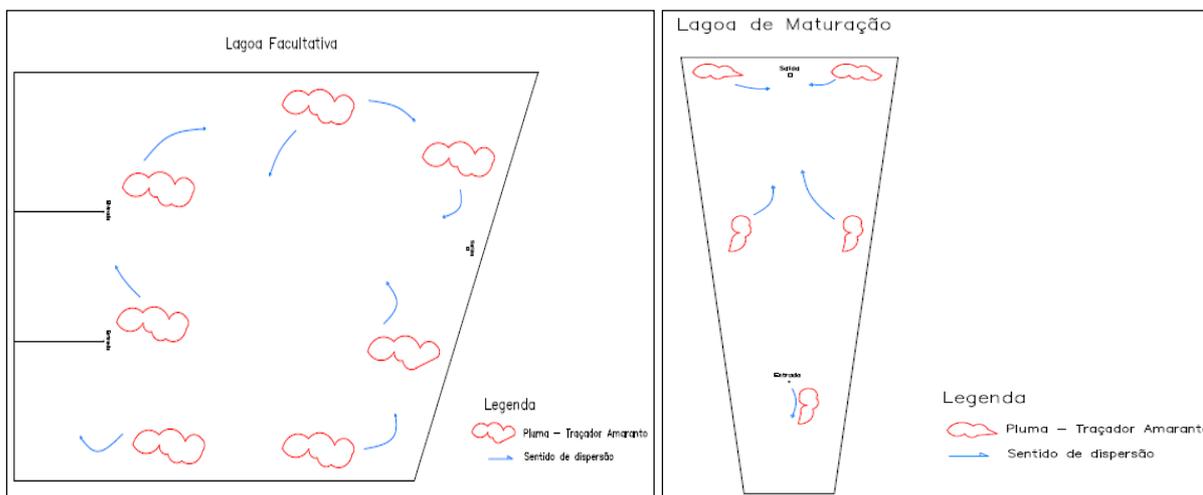
**Figura 5.71** - Visualização do corante após mistura do fluido na entrada da lagoa facultativa (esquerda) e da lagoa de maturação (direita) – ETE Confins.

O corante lançado superficialmente nas entradas e em alguns pontos das laterais foi de melhor visualização e acompanhamento (Figura 5.72).



**Figura 5.72** - Visualização do corante após lançamento superficial nas entradas e em vários pontos na lagoa facultativa (fotos da esquerda) e maturação (direita) – ETE Confins.

A partir dos ensaios nas duas lagoas, foi possível a observação de padrões de fluxo. Entretanto, não foi possível o registro fotográfico que permitisse a apresentação de forma clara neste trabalho, dadas as limitações já comentadas anteriormente. Na intenção de esquematizar o comportamento do corante nas duas lagoas, a Figura 5.73 resume as principais tendências observadas em campo.



**Figura 5.73** - Principais tendências de fluxo evidenciadas pelo corante na lagoa facultativa (foto da esquerda) e maturação (direita) da ETE Confins - Vista em planta.

Observa-se um padrão geral de movimento circular do fluido na lagoa facultativa (padrão de mistura) e uma tendência de movimento mais retilíneo na lagoa de maturação (menor circulação do fluido). Na lagoa de maturação, a parcela do corante aplicada próximo à entrada inicialmente se dispersou em direção oposta ao fluxo, entretanto, observou-se que outra parcela do corante, em uma camada subsuperficial, se movia em direção à saída.

### 5.2.3 Ensaio com *drogues*

#### 5.2.3.1 Laranjas

As laranjas lançadas na calha *Parshall* juntamente com o corante alcançaram o primeiro PV ao mesmo tempo. Entretanto, não surgiram na superfície da lagoa, possivelmente devido à característica das tubulações de entrada (curvas de 90° para baixo, com saída afogada). O mesmo ocorreu na lagoa de maturação. Portanto, todas as observações feitas a partir das laranjas foram depois do lançamento das mesmas na superfície, próximo às entradas das lagoas (figura 5.74 e 5.75).

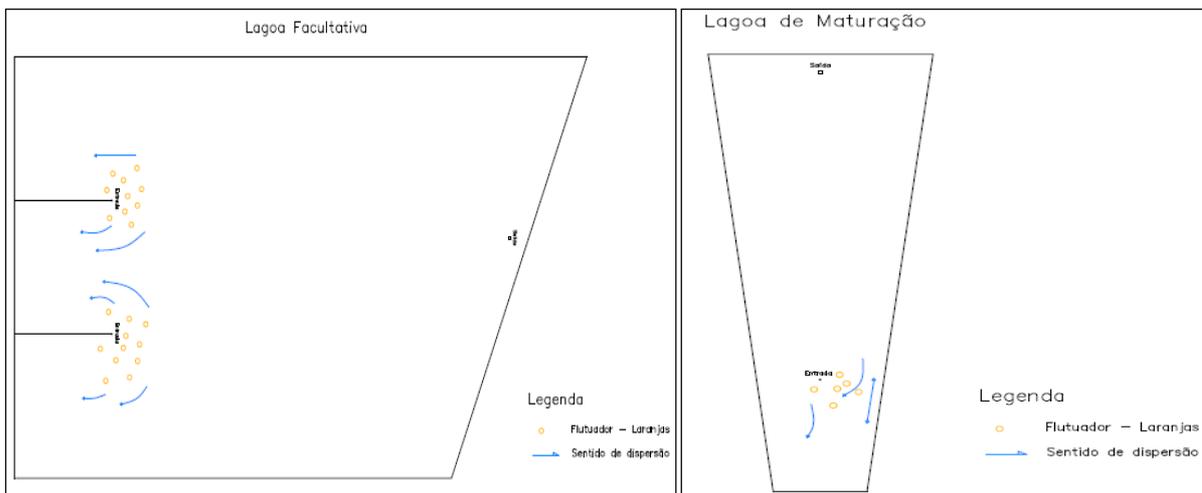


**Figura 5.74** - Laranjas lançadas próximo à entrada na lagoa facultativa – ETE Confins.



**Figura 5.75** - Laranjas lançadas próximo à entrada na lagoa de maturação – ETE Confins.

As trajetórias assumidas pelas laranjas foram substancialmente influenciadas pelo vento. Em grande parte do tempo as laranjas se moveram na direção dos ventos predominantes. Na lagoa facultativa, todas as laranjas se dirigiram ao lado oeste, na direção dos ventos predominantes e ali permaneceram. Na lagoa de maturação, as laranjas seguiram a mesma direção do corante lançado na entrada (direção contrária à saída) e depois seguiram em direção à saída, aparecendo após 6 dias no vertedor. A lagoa de maturação parece receber menor influência dos ventos. A Figura 5.76 apresenta um esquema com as principais tendências de deslocamento das laranjas em cada lagoa, observadas em campo.



**Figura 5.76** - Principais tendências de fluxo evidenciadas pelo corante na lagoa facultativa (foto da esquerda) e maturação (direita) da ETE Confins - Vista em planta.

### 5.2.3.2 *Drogue*

Em relação ao *drogue* montado com o GPS, não foi observada influência expressiva do vento, já que o *drogue* não necessariamente se moveu de acordo com as direções predominantes, registradas durante os ensaios, nem acompanhava o movimento das laranjas que eram claramente impulsionadas pelo vento na lagoa facultativa.

O *drogue* submergiu um pouco mais que meia seção (Figura 5.77).



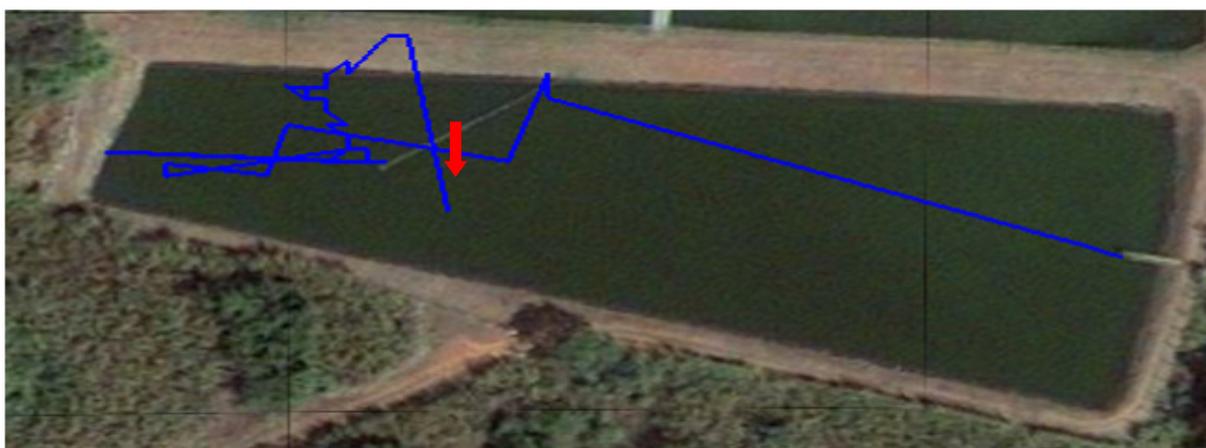
**Figura 5.77** - Destaque do *drogue* flutuando na lagoa facultativa (esquerda) e na lagoa de maturação (direita) – ETE Confins.

As trajetórias obtidas com o *drogue* nas lagoas estão apresentadas nas figuras 5.78 e 5.79. As trajetórias registradas corresponderam ao verificado em campo (constatado a partir da observação periódica do movimento do *drogue*) e, quando exportadas para o *software* Google

Earth®, caíram exatamente onde deveriam, fato constatado quando da verificação do ponto de lançamento.



**Figura 5.78** - Trajetória do *drogue* na lagoa facultativa, com indicação do ponto de lançamento – ETE Confins.



**Figura 5.79** - Trajetória do *drogue* na lagoa de maturação, com indicação do ponto de lançamento – ETE Confins

A seta vermelha na Figura 5.78 indica o local que o *drogue* foi deixado na lagoa facultativa, bem próximo à entrada norte da lagoa, que recebe a maior parte da vazão, conforme já comentado. A linha contínua antes da seta corresponde a trajetória do barco até o ponto de lançamento. As falhas na trajetória registrada com o movimento do *drogue* podem ter ocorrido devido à perda de sinal com o mau tempo (chuva ou céu nublado). O ponto final da trajetória não correspondeu ao ponto no qual o *drogue* foi resgatado. Depois desse ponto, o *drogue* foi observado próximo ao mesmo local em que foi lançado e depois no lado sul da

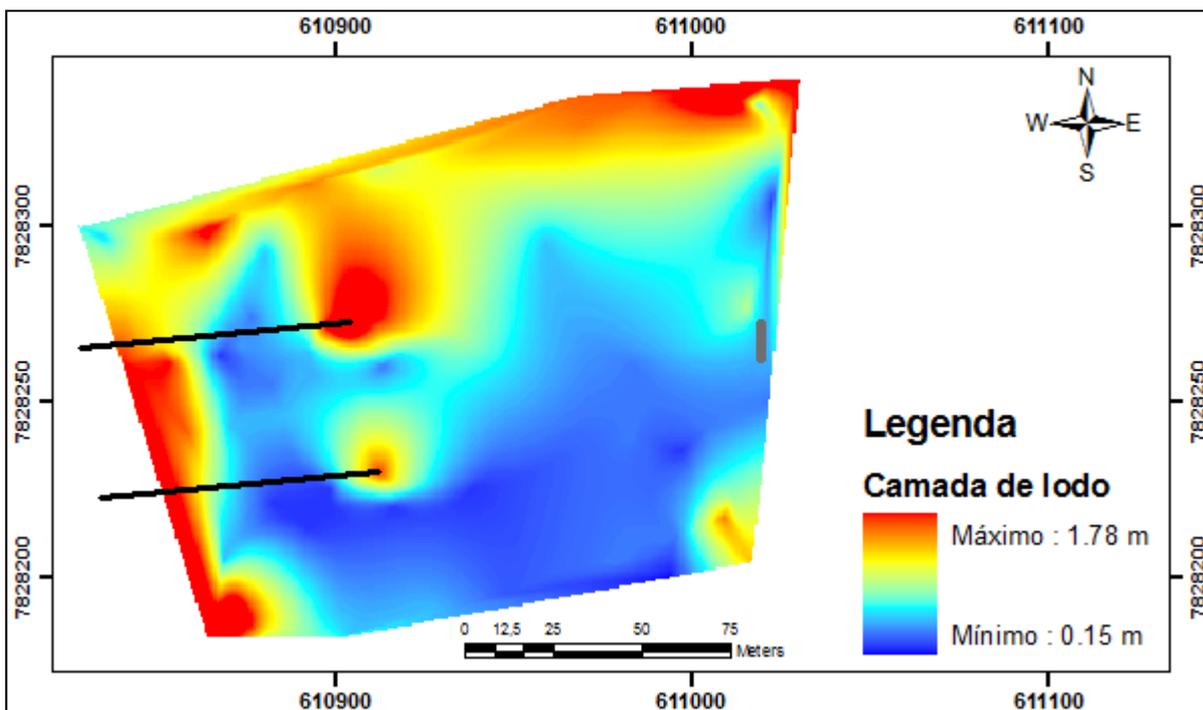
lagoa, onde foi recolhido após uma semana. Possivelmente por causa das limitações de memória do GPS, o restante do trajeto não foi registrado. A partir da Figura 5.78 e das observações expostas, têm-se que o movimento do *drogue* na lagoa facultativa foi circular, no sentido anti-horário. O padrão de movimento circular foi também observado com os ensaios com o corante.

De forma análoga, a seta vermelha na Figura 5.79 indica o local que o *drogue* foi lançado na lagoa de maturação. O registro do trajeto com o segundo GPS não foi tão preciso como no primeiro, lançado na lagoa facultativa, possivelmente devido à forma em que estava configurado, que resultou em menor precisão na definição do trajeto. O tipo de padrão gerado (em linhas retas), pode indicar que o trajeto foi desenhado pelo GPS por meio da ligação de pontos registrados ao longo do tempo. Entretanto, nota-se que o *drogue* apresentou tendência inicial de seguir direção contrária ao fluxo, permanecendo nessa região aparentemente por um bom tempo até seguir em uma linha de fluxo retilínea em direção a saída, onde foi resgatado 3 dias depois, ao chegar no vertedouro. As laranjas e o corante lançados na lagoa tiveram o mesmo comportamento, sendo que a primeira laranja chegou na saída após 6 dias.

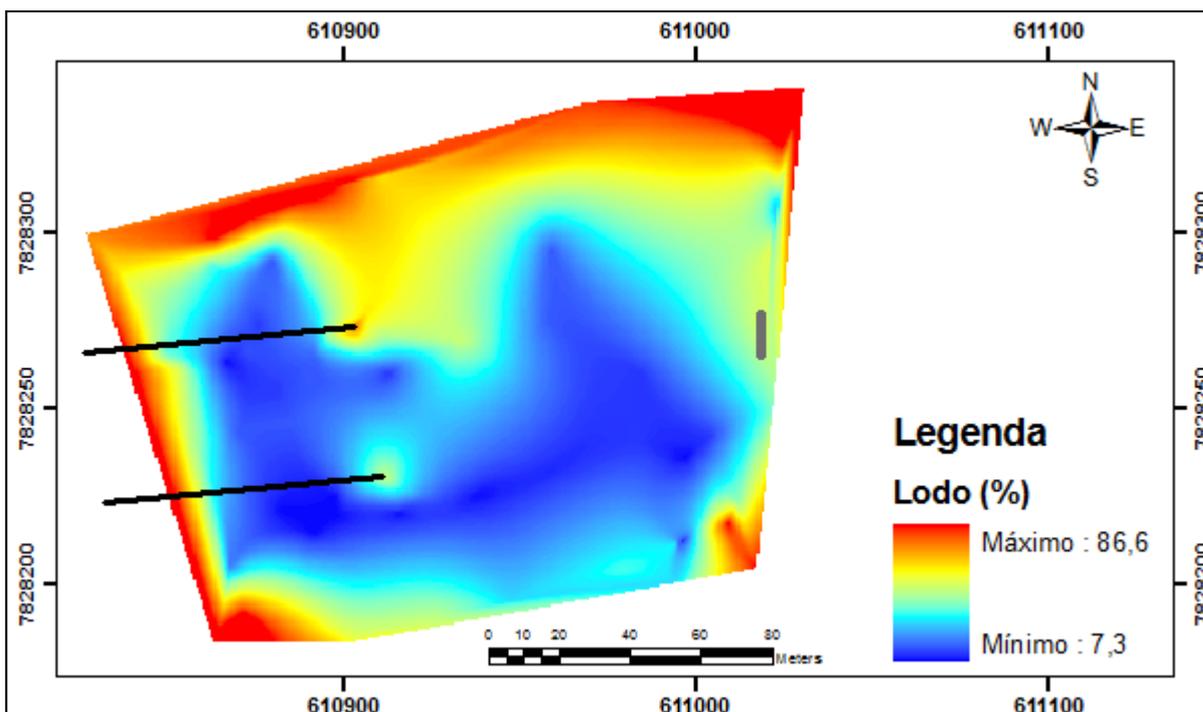
### **5.3 Levantamento batimétrico**

#### **5.3.1 Modelos de distribuição espacial do lodo nas lagoas**

Os mapas batimétricos da lagoa facultativa da ETE Confins, apresentados nas figuras 5.80 e 5.81, demonstram o comportamento da espacialização do lodo. A Figura 5.80 ilustra a distribuição espacial em termos de espessura da camada de lodo; os valores variaram de 0,15 a 1,78 m. Já na Figura 5.81, os valores indicam o quanto (em %) a espessura do lodo representa da profundidade da lagoa no local, variando de 7,3 a 86,6 %. Dessa forma, eliminou-se o fator 'profundidade' na apresentação dos dados.



**Figura 5.80** - Modelo da distribuição espacial do lodo acumulado na lagoa facultativa (altura do lodo em metros) – ETE Confins.



**Figura 5.81** - Modelo da distribuição espacial do lodo acumulado na lagoa facultativa (% da profundidade total ocupado pelo lodo) – ETE Confins.

A maioria dos estudos sobre a distribuição espacial da camada de lodo em lagoas facultativas aponta para acumulações nas proximidades dos dispositivos de entrada e saída do efluente. Observa-se, também nesse caso, acúmulos próximos a esses dispositivos, mais

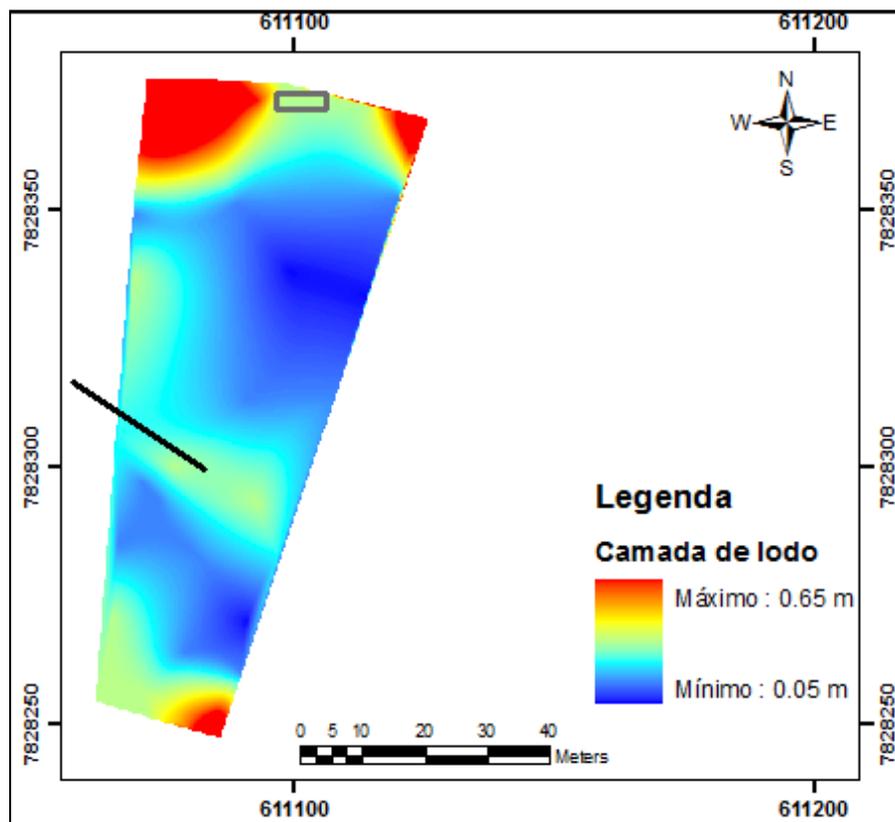
acentuadamente na tubulação de entrada da face norte. Foi observada também uma zona maior de acumulação em toda a extensão de sua face norte e oeste e uma porção localizada a extremo sudeste.

Tendo em vista que o acúmulo de lodo em lagoas não ocorre de forma homogênea no tempo e no espaço, acredita-se que as zonas de acumulação na lagoa facultativa possam estar ocorrendo, sobretudo, em função do posicionamento dos dispositivos de entrada, que induzem a um comportamento hidrodinâmico que condiciona a distribuição da camada de lodo verificada na lagoa. Tal comportamento também poderá ser influenciado pela ação dos ventos.

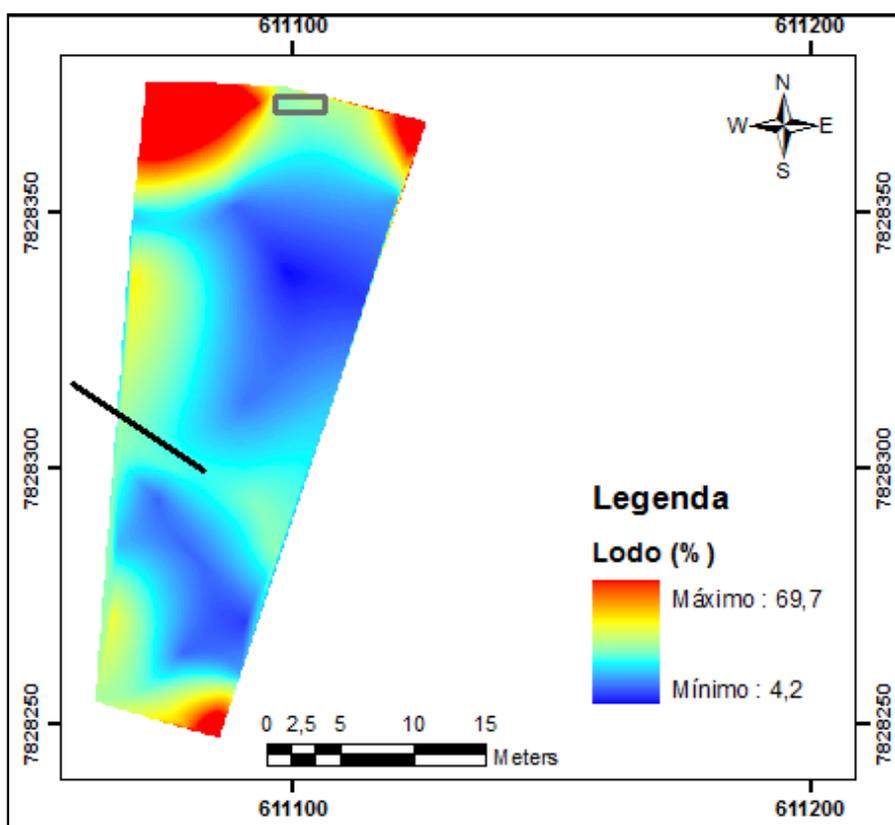
No entanto, durante os ensaios com o corante, foi constatado que existe distribuição desigual da vazão afluente entre as duas tubulações de entrada, situação essa que provavelmente condiciona maior acúmulo de lodo nas proximidades da tubulação que transporta a maior vazão (face norte da lagoa).

Foi constatado, durante o levantamento, que o lodo acumulado próximo a região de entrada da lagoa apresentava-se mais resistente à penetração da haste e com consistência arenosa, o que pode ser devido ao aporte de areia na unidade (a ETE não possui desarenadores).

Os mapas batimétricos da lagoa de maturação estão apresentados nas figuras 5.82 e 5.83 demonstrando o comportamento da espacialização do lodo. A Figura 5.82 ilustra a distribuição espacial em termos de espessura da camada de lodo; os valores variaram de 0,05 a 0,65 m. Já na Figura 5.83, os valores indicam o quanto (em %) a espessura do lodo representa da profundidade da lagoa no local, variando de 4,2 a 69,7 %.



**Figura 5.82** - Modelo da distribuição espacial do lodo acumulado na lagoa de maturação (altura do lodo em metros) – ETE Confins.



**Figura 5.83** - Modelo da distribuição espacial do lodo acumulado na lagoa de maturação (% da profundidade total ocupado pelo lodo) – ETE Confins.

Em relação à distribuição espacial da camada de lodo identificada na lagoa de maturação, tem-se que as maiores concentrações são evidenciadas nas bordas próximas ao dispositivo de saída, destacando-se também uma zona de acumulação localizada a sudeste da lagoa, o que se deve provavelmente à ação dos ventos.

A partir da elaboração dos mapas batimétricos apresentados, foram determinados o volume útil (massa líquida) e volume da camada de lodo para as lagoas do sistema de tratamento, conforme Tabela. 5.41:

**Tabela 5.41** - Volume útil e da camada de lodo nas lagoas da ETE Confins.

Lagoa Facultativa			Lagoa de Maturação		
Volume útil (m <sup>3</sup> )	Volume de lodo (m <sup>3</sup> )	Percentual ocupado pelo lodo (%)	Volume útil (m <sup>3</sup> )	Volume de lodo (m <sup>3</sup> )	Percentual ocupado pelo lodo (%)
41212	13788	25%	4319	786	18%

### 5.3.2 Taxas de acúmulo de lodo

A taxa média de acumulação de lodo na lagoa facultativa, em relação a média anual de passageiros compreendendo os anos de 1989 a 2010, foi de 0,0071m<sup>3</sup>/pax.ano ou 2,2 cm/ano. Em relação à lagoa de maturação, tem-se uma taxa de acumulação de lodo da ordem de 0,00017 m<sup>3</sup>/pax.ano ou 3,2 cm/ano, considerando sua operação desde 2005, quando a lagoa foi esvaziada para instalação de manta de PEAD.

Conforme demonstrado na Tabela 5.42, as taxas de acumulação de lodos obtidas foram inferiores à maioria das taxas citadas na literatura. Insta salientar que a taxa calculada refere-se à movimentação de passageiros em um aeroporto, não havendo referências semelhantes encontradas na literatura.

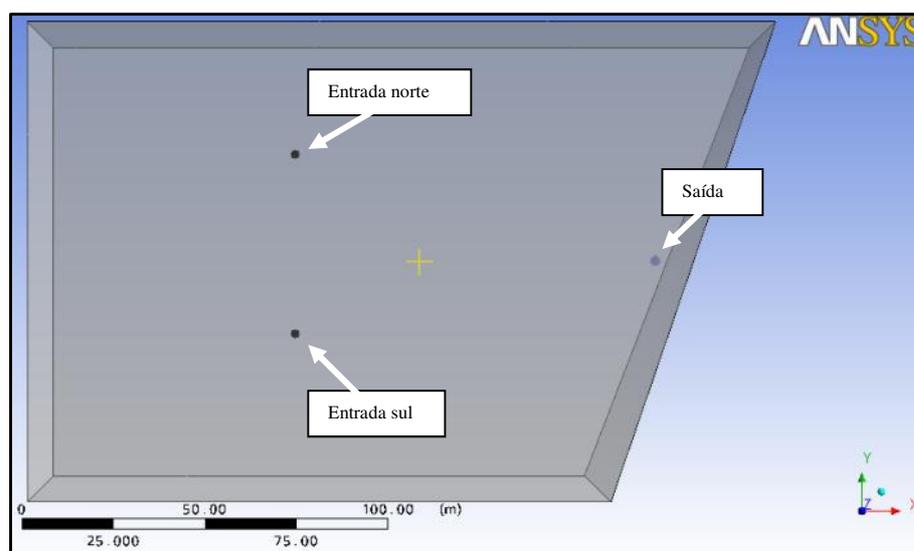
**Tabela 5.42** - Taxas de acumulação de lodo em lagoas facultativas e de maturação.

Referência	Taxa de acúmulo (m <sup>3</sup> /hab.ano)	Taxa de acúmulo (cm/ano)	Observações
Nelson <i>et al.</i> (2004)	0,021 a 0,036	-	Lagoas de estabilização primárias no México
Gonçalves (1997)	0,023	1,48	Lagoa facultativa primária no estado do ES
Arceivala (1981) <i>apud</i> von Sperling (2002)	0,03 a 0,08	-	Lagoas facultativas
Da-Rin e Nascimento (1988)	0,036	-	Facultativa primária -To = 20 anos
Gloyna (1973)	0,12	9,1	Anaeróbias e facultativas primárias
Kellner <i>et al.</i> (2009)	-	2,05	Lagoa facultativa
Senra (1983)	-	1,22 - 2,77	Facultativas secundárias
Este trabalho (2012)	0,0071	2,2	Lagoa facultativa primária
	0,00017	3,2	Lagoa de maturação

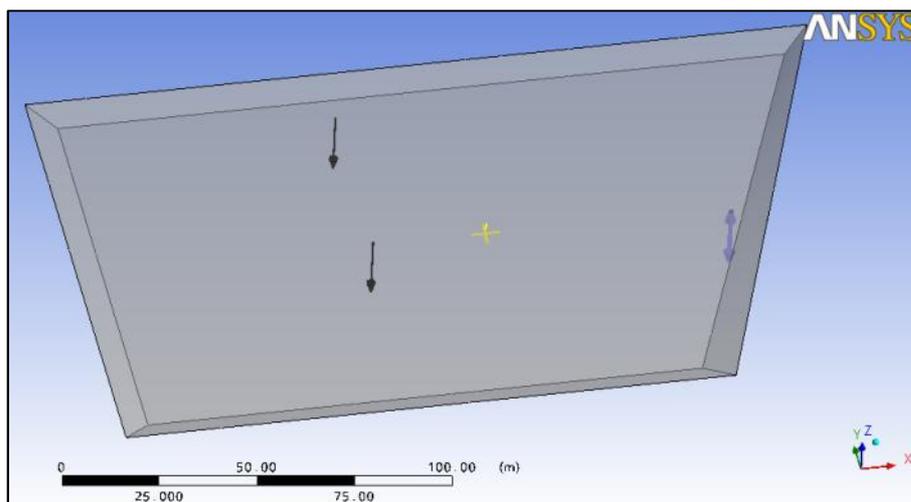
## 5.4 Avaliação hidrodinâmica - Modelagem em CFD

### 5.4.1 Geometrias e Malhas

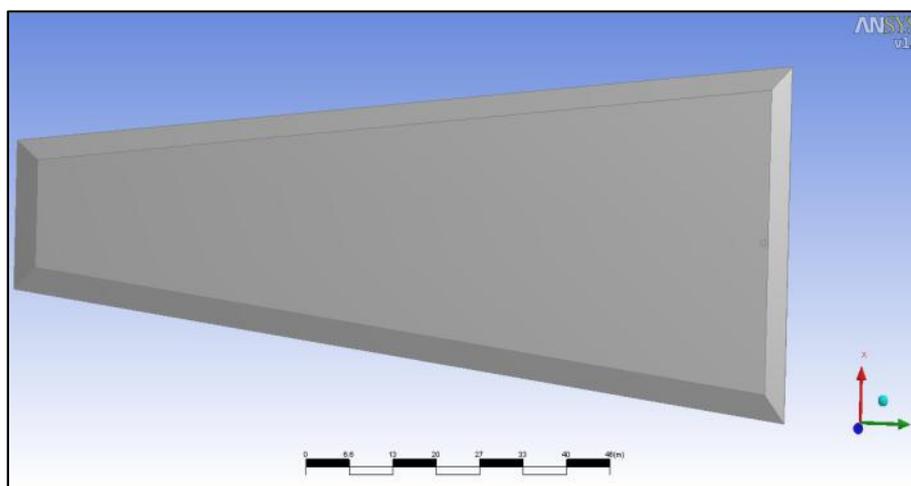
A geometria tridimensional construída para modelagem da lagoa facultativa está apresentada nas figuras 5.84 e 5.85. Destacam-se nas figuras os pontos de entrada e saída do efluente, representados por setas. Da mesma forma, a geometria da lagoa de maturação está ilustrada nas figuras 5.86 e 5.87.



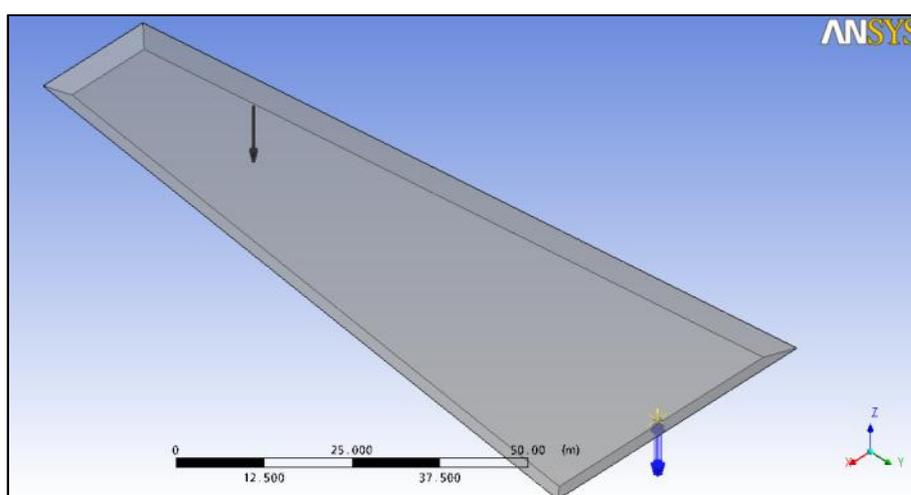
**Figura 5.84** - Geometria tridimensional construída da lagoa facultativa da ETE Confins – vista do plano XY.



**Figura 5.85** - Geometria tridimensional construída da lagoa facultativa da ETE Confins – vista em perspectiva.

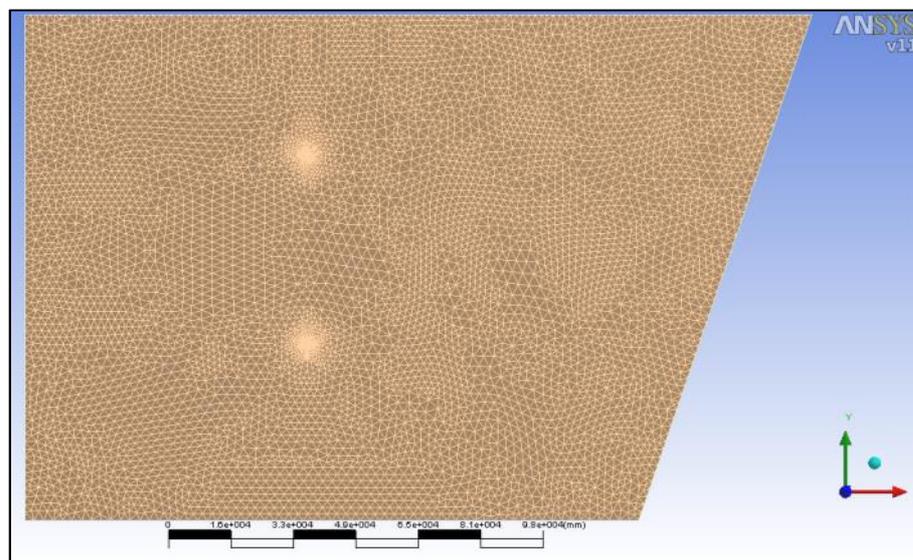


**Figura 5.86** - Geometria tridimensional construída da lagoa de maturação da ETE Confins – vista do plano XY.

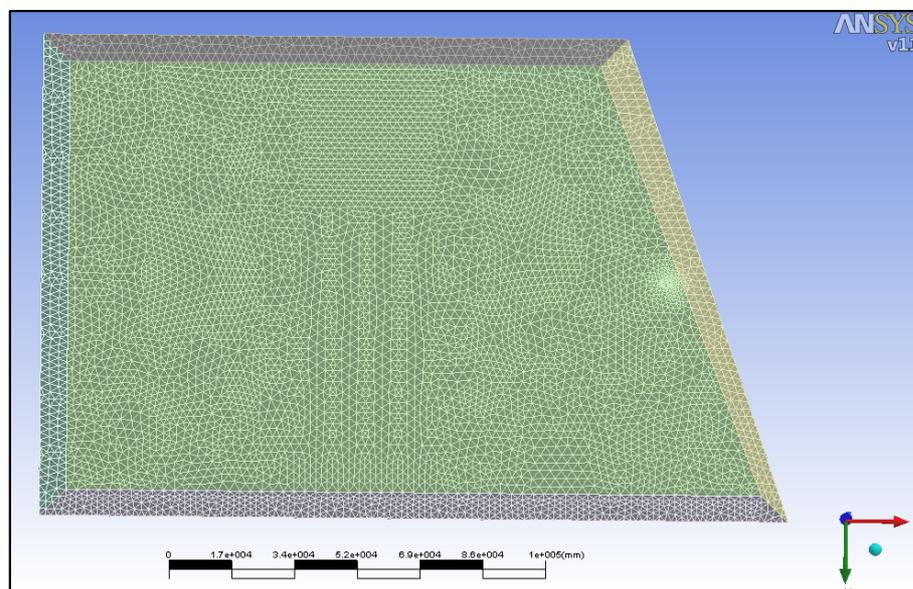


**Figura 5.87** - Geometria tridimensional construída da lagoa de maturação da ETE Confins – vista em perspectiva.

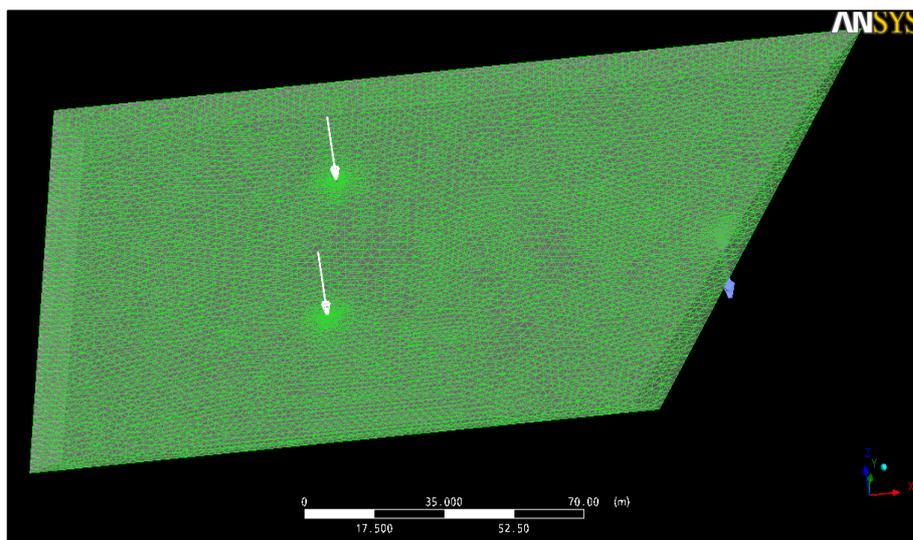
As malhas, geradas por meio das etapas metodológicas descritas, estão apresentadas nas figuras 5.88 a 5.91 **Figura 5.91** (lagoa facultativa) e nas figuras 5.92 e 5.93 (lagoa de maturação). Nota-se o maior refinamento nas regiões de entrada e saída de efluente das lagoas (detalhe de refinamento na entrada da lagoa facultativa e de maturação nas figuras 5.91 e 5.93, respectivamente).



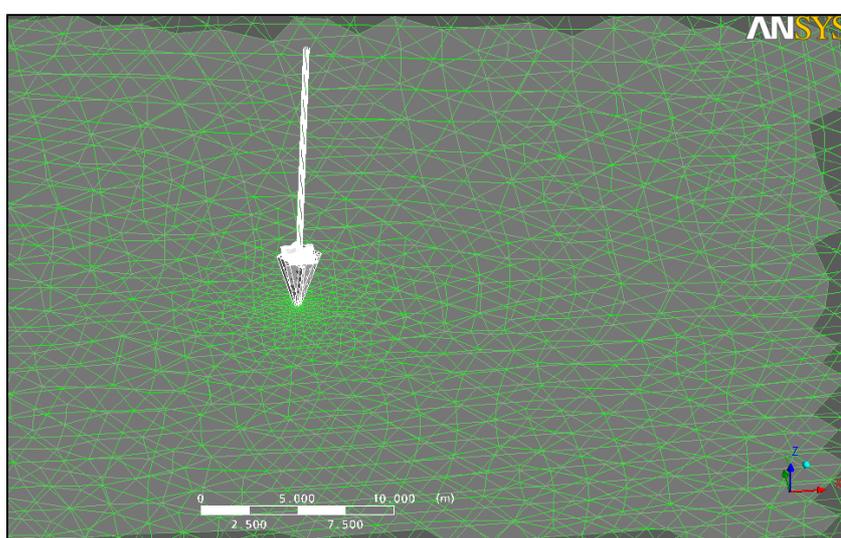
**Figura 5.88** - Malha de cálculo gerada - lagoa facultativa da ETE Confins – vista do plano XY.



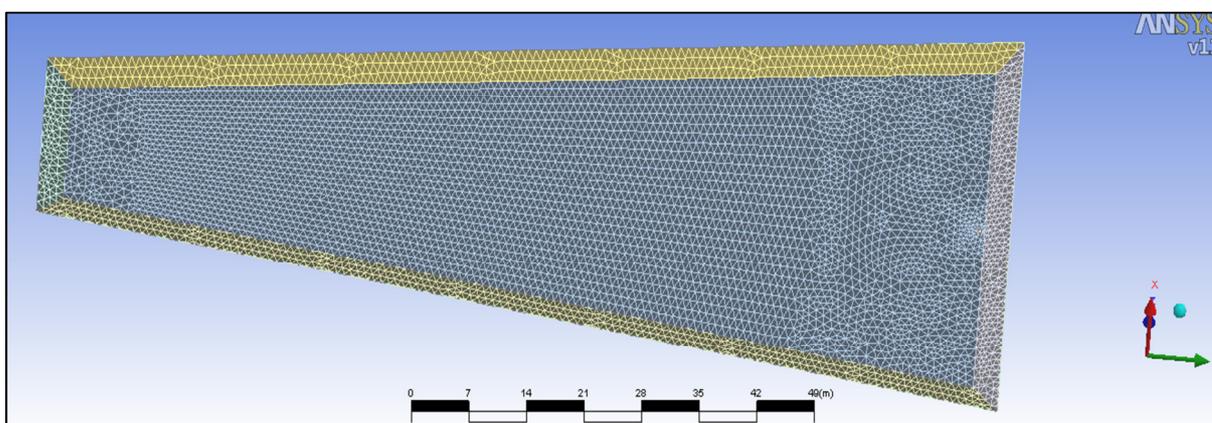
**Figura 5.89** - Malha de cálculo gerada - lagoa facultativa da ETE Confins – vista do fundo no plano XY.



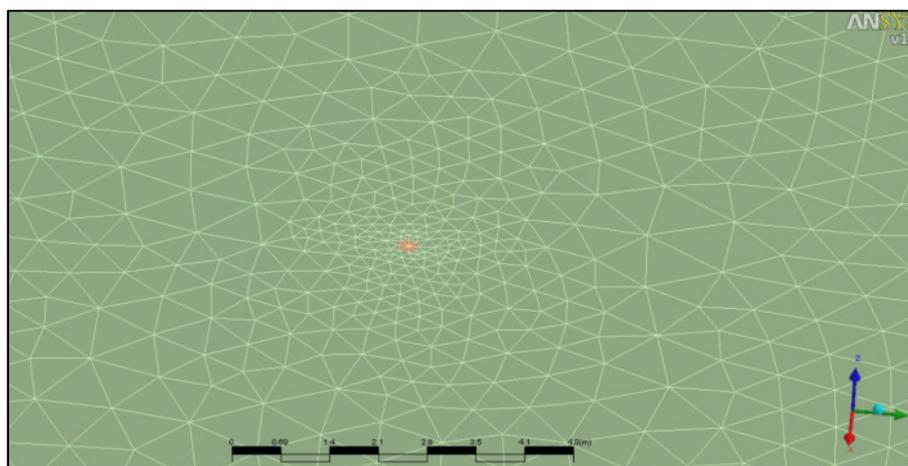
**Figura 5.90** - Malha de cálculo gerada - lagoa facultativa da ETE Confins – vista em perspectiva.



**Figura 5.91** - Malha de cálculo gerada - lagoa facultativa da ETE Confins – detalhe do refinamento em uma das entradas.



**Figura 5.92** - Malha de cálculo gerada - lagoa de maturação da ETE Confins – vista do plano XY.



**Figura 5.93** - Malha de cálculo gerada - lagoa de maturação da ETE Confins – detalhe do refinamento em uma das entradas.

Previamente, foram realizados testes de independência de malha para determinar a escala ideal que fornece uma densidade de malha suficiente para garantir resultados consistentes com o menor esforço computacional possível. A partir de então, utilizou-se a mesma malha para todas as simulações realizadas. A Tabela 5.43 resume os resultados dos elementos obtidos com a malha gerada para cada lagoa.

**Tabela 5.43** - Estatística dos números de nós e elementos tetraédricos na malha volumétrica das lagoas.

	<b>Lagoa facultativa</b>	<b>Lagoa de maturação</b>
<b>Número de Nós</b>	19067	14372
<b>Número de elementos tetraédricos</b>	73084	54951

## 5.4.2 Simulações

As tabelas 5.44 e 5.45 resumem as principais definições de simulação e condições de contorno, respectivamente, para a lagoa facultativa. De forma análoga, as tabelas 5.46 e 5.47 fornecem as informações para as simulações da lagoa de maturação.

**Tabela 5.44** - Resumo das principais definições de simulação para a modelagem em CFD – Lagoa facultativa.

	<b>Definições</b>	<b>Observações</b>
<b>Tipo de simulação</b>	Transiente	-
<b>Tempo total de simulação</b>	5760 h	Três vezes o TDH média da lagoa.
<b>Passo de tempo</b>	6 h	Passos de tempo maiores incorriam em elevados números de <i>Courant</i> , resultando em erros de convergência.
<b>Fluido</b>	Água	Propriedades do fluido apresentadas na Tabela 4.6
<b>Transferência de calor</b>	Isotérmico	-
<b>Modelo de turbulência</b>	SST	Equações e demais métodos apresentados na seção 4.2.4.4
<b>Injeção de Traçador</b>	Locais: Entrada norte Entrada Sul	Equação: $[kg\ s^{-1}] * step((t - 6[h])/6[h]) * step((12[h] - t)/12[h])$ → Injeção do traçador em pulso no primeiro passo de tempo.
<b>Monitoramento do traçador</b>	Local: Saída	Equação: $areaAve(Tracer)@saida$

**Tabela 5.45** - Resumo das principais condições de contorno para a modelagem em CFD – Lagoa facultativa.

<b>Local</b>	<b>Condição de contorno</b>	<b>Definições</b>
<b>Entrada Norte</b>	<i>Inlet</i>	Regime subsônico $V = 0,084\ m/s$ Turbulência → Média intensidade (5%)
<b>Entrada Sul</b>	<i>Inlet</i>	Regime subsônico $V = 0,036\ m/s$ Turbulência → Média intensidade (5%)
<b>Superfície (simulações sem vento)</b>	<i>Wall</i>	Free Slip Pressão relativa = 0 Pa
<b>Superfície (simulações com vento)</b>	<i>Wall</i>	No Slip Velocidades relativas: $u = - 0,3\ Km/h$ $v = 0\ km/h$ $w = 0\ km/h$
<b>Saída</b>	<i>Openig</i>	Regime subsônico Pressão relativa = 0 Pa
<b>Taludes</b>	<i>Wall</i>	<i>No Slip</i>
<b>Base</b>	<i>Wall</i>	<i>No Slip</i>

**Tabela 5.46** - Resumo das principais definições de simulação para a modelagem em CFD – Lagoa de maturação.

	<b>Definições</b>	<b>Observações</b>
<b>Tipo de simulação</b>	Transiente	-
<b>Tempo total de Simulação</b>	504 h	Três vezes o TDH média da lagoa
<b>Passo de tempo</b>	6 h	Passos de tempo maiores incorriam em elevados números de <i>Courant</i> , resultando em erros de convergência.
<b>Fluido</b>	Água	Propriedades do fluido apresentadas na Tabela 4.6
<b>Transferência de calor</b>	Isotérmico	-
<b>Modelo de turbulência</b>	SST	Equações e demais métodos apresentados na seção 4.2.4.4
<b>Injeção de Traçador</b>	Local: Entrada	Equação: $[kg\ s^{-1}] * \text{step}((t - 6[h])/6[h]) * \text{step}((12[h] - t)/12[h]) \rightarrow$ Injeção do traçador em pulso no primeiro passo de tempo.
<b>Monitoramento do traçador</b>	Local: Saída	Equação: $\text{areaAve}(\text{Tracer})@saida$

**Tabela 5.47** - Resumo das principais condições de contorno para a modelagem em CFD – Lagoa de maturação.

<b>Local</b>	<b>Condição de contorno</b>	<b>Definições</b>
<b>Entrada</b>	<i>Inlet</i>	Regime subsônico $V = 0,12\ m/s$ Turbulência $\rightarrow$ Média intensidade (5%)
<b>Superfície (simulações sem vento)</b>	<i>Wall</i>	<i>Free Slip</i> Pressão relativa = 0 Pa
<b>Superfície (simulações com vento)</b>	<i>Wall</i>	No Slip Velocidades relativas: $u = - 0,24\ Km/h$ $v = 0\ km/h$ $w = 0\ km/h$
<b>Saída</b>	<i>Opennig</i>	Regime subsônico Pressão relativa = 0 Pa
<b>Taludes</b>	<i>Wall</i>	<i>No Slip</i>
<b>Base</b>	<i>Wall</i>	<i>No Slip</i>

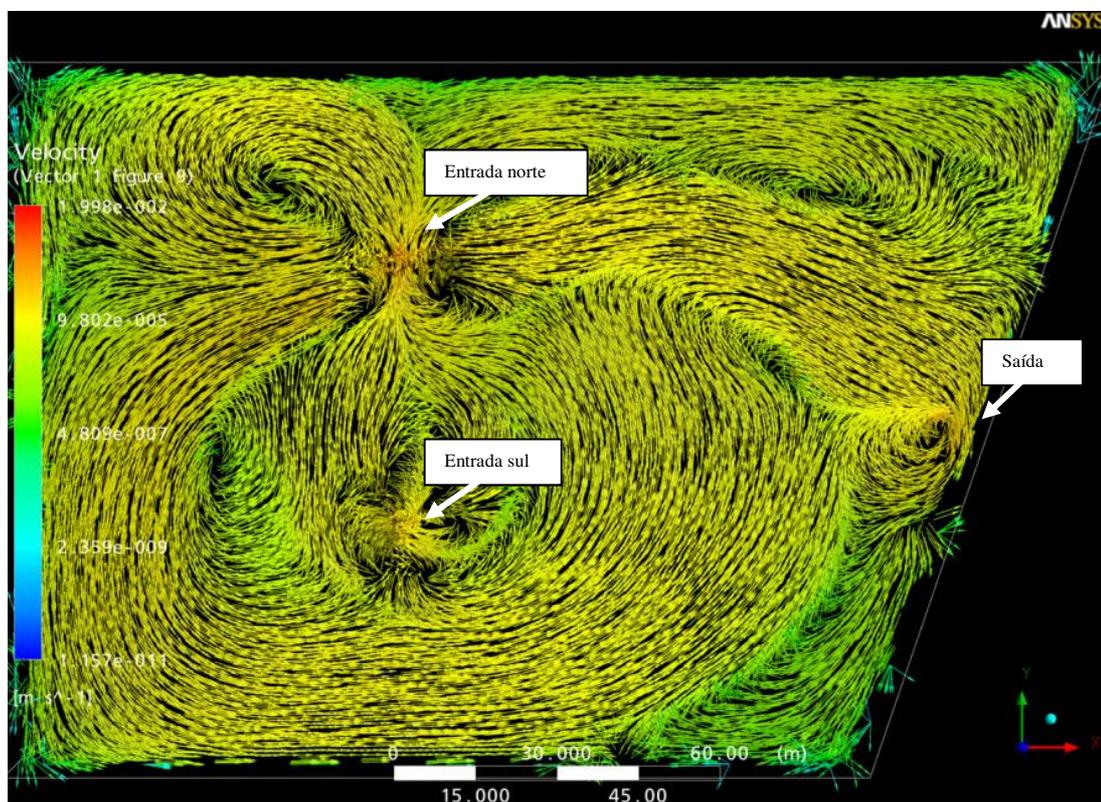
Os principais resultados da simulação nas duas lagoas estão apresentados separadamente, nos dois tópicos adiante.

#### 5.4.2.1 Lagoa facultativa

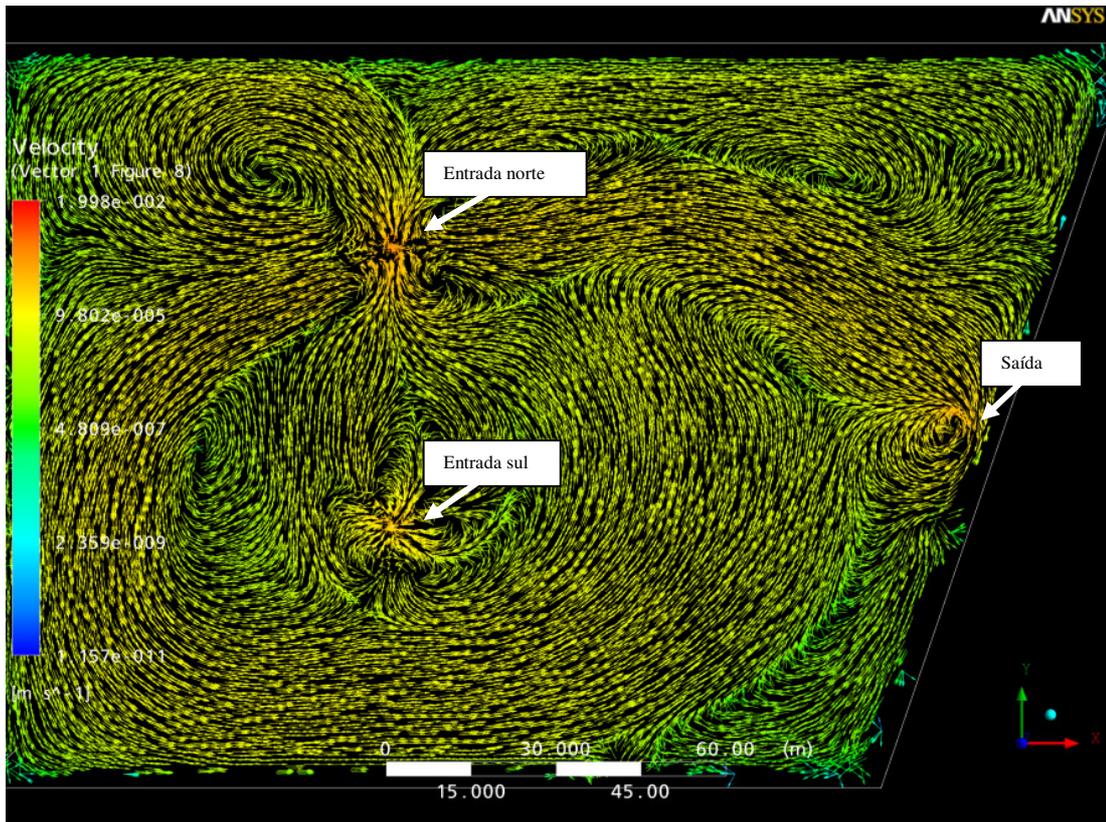
Para análise do fluxo na lagoa e comparação com os dados obtidos com os ensaios hidrodinâmicos de campo, foi criado um plano cortando a lagoa na profundidade da “vela” do

*drogue* (portanto, o mesmo plano cujo fluxo impulsionava o equipamento) e um plano próximo a superfície, onde flutuavam as laranjas.

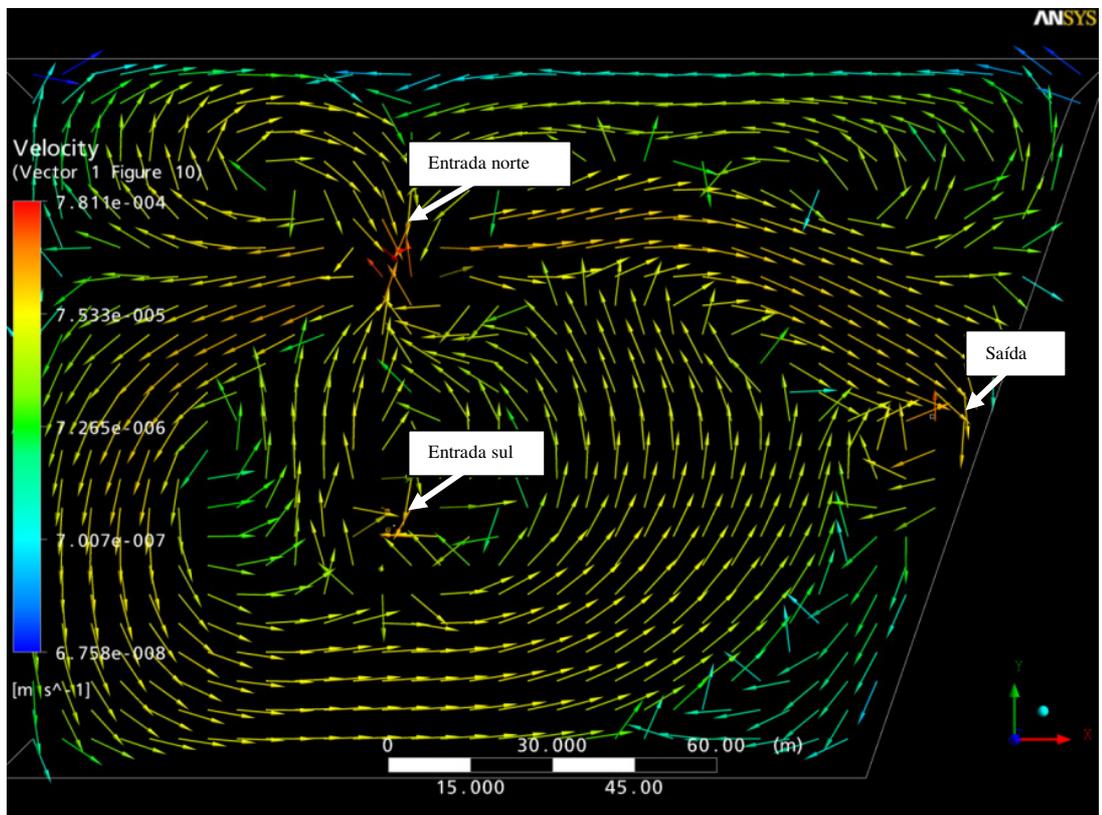
As figuras 5.94 e 5.95 apresentam vetores de velocidade em cada elemento de malha na profundidade de 1,20 m. A Figura 5.96 apresenta os mesmos vetores de velocidade em menor densidade e espalhados uniformemente na geometria, para facilitar a visualização. A Figura 5.97 apresenta superfícies de contorno com os valores de velocidade. Observam-se zonas de recirculação e curtos circuitos, bem como zonas mortas nas bordas e cantos da lagoa. Obviamente, têm-se maiores velocidades nas proximidades dos dispositivos de entrada e saída (Figura 5.97). Também é possível perceber a maior influência da entrada norte da lagoa, que recebe maior vazão, ditando o comportamento da maior parte dos vetores de velocidade.



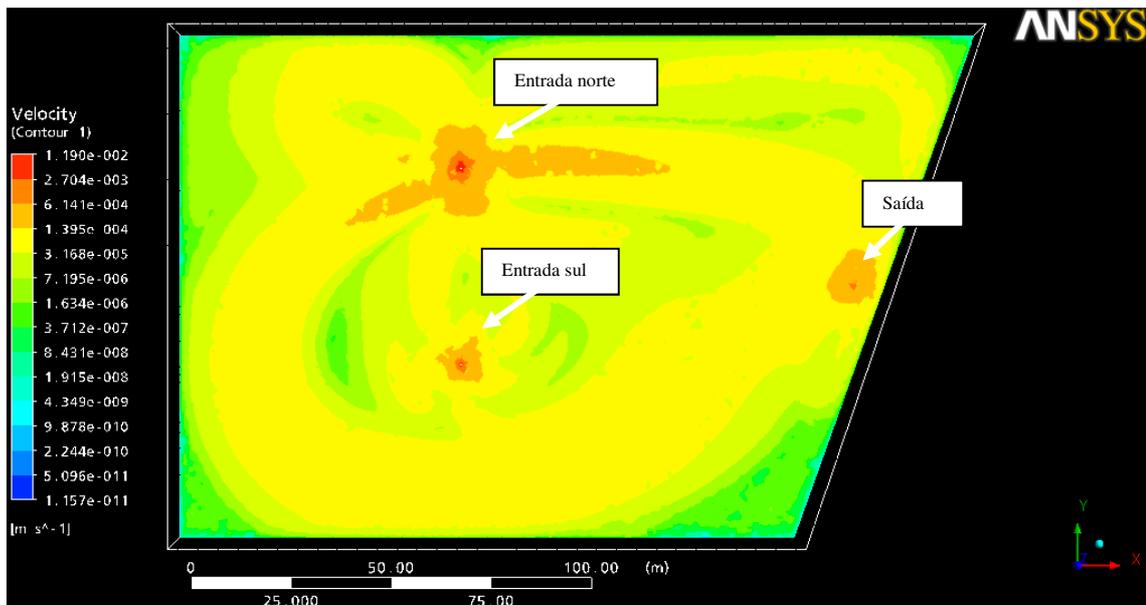
**Figura 5.94** - Vetores de velocidade tridimensionais obtidos com o modelo em CFD na lagoa facultativa – Plano Z = 1,70m.



**Figura 5.95** - Vetores de velocidade bidimensionais obtidos com o modelo em CFD na lagoa facultativa – Plano Z = 1,70m.

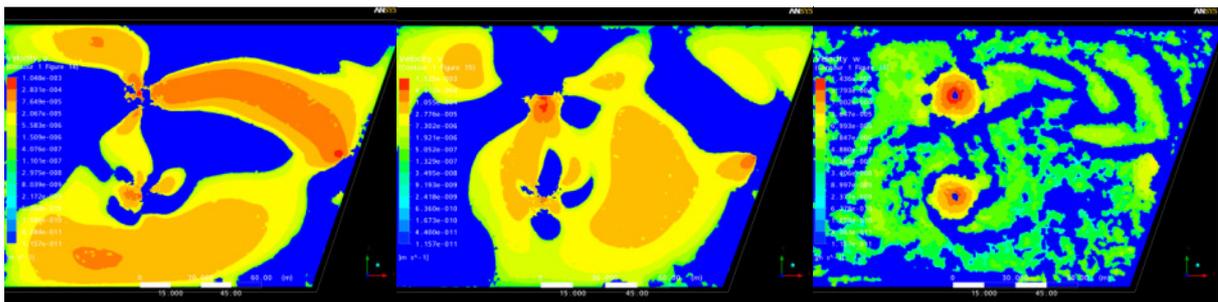


**Figura 5.96** - Vetores de velocidade uniformemente distribuídos na lagoa facultativa – Plano Z = 1,70m



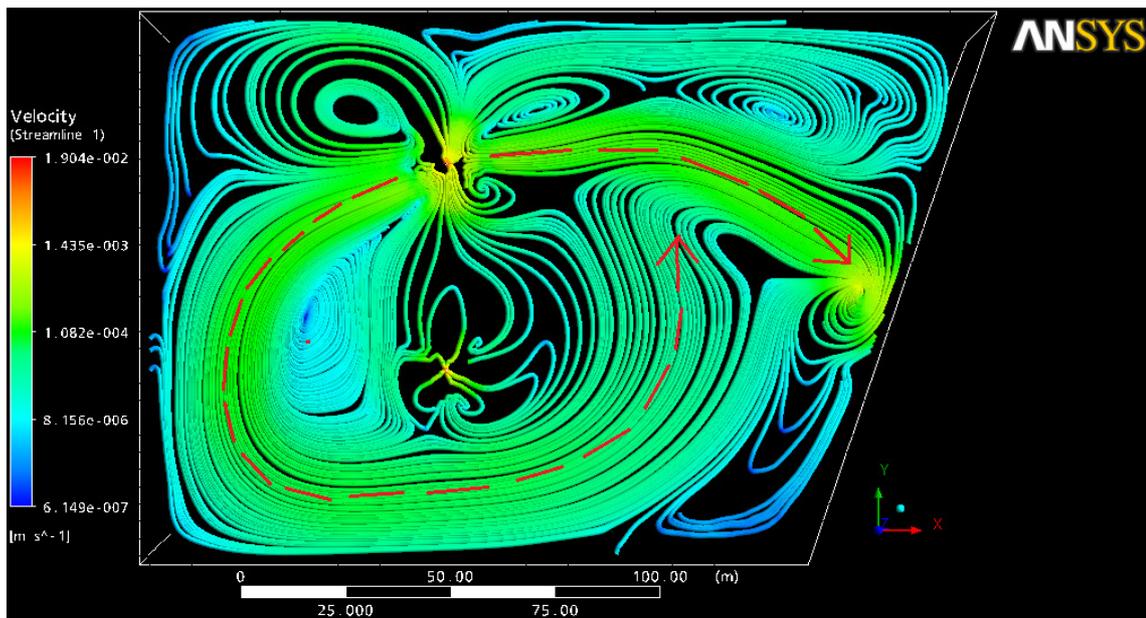
**Figura 5.97** - Superfícies de contorno - velocidades na lagoa facultativa no plano Z = 1,7m.

A Figura 5.98 apresenta superfícies de contorno com as velocidades nos eixos x, y e z (da esquerda para a direita).



**Figura 5.98** - Superfícies de contorno – velocidades nas direções x, y e z da lagoa facultativa no plano Z = 1,7m.

A Figura 5.99 apresenta as linhas de fluxo para o mesmo plano, corroborando as tendências ilustradas com os vetores de velocidade e superfícies de contorno. As cores variam também com o valor da velocidade.

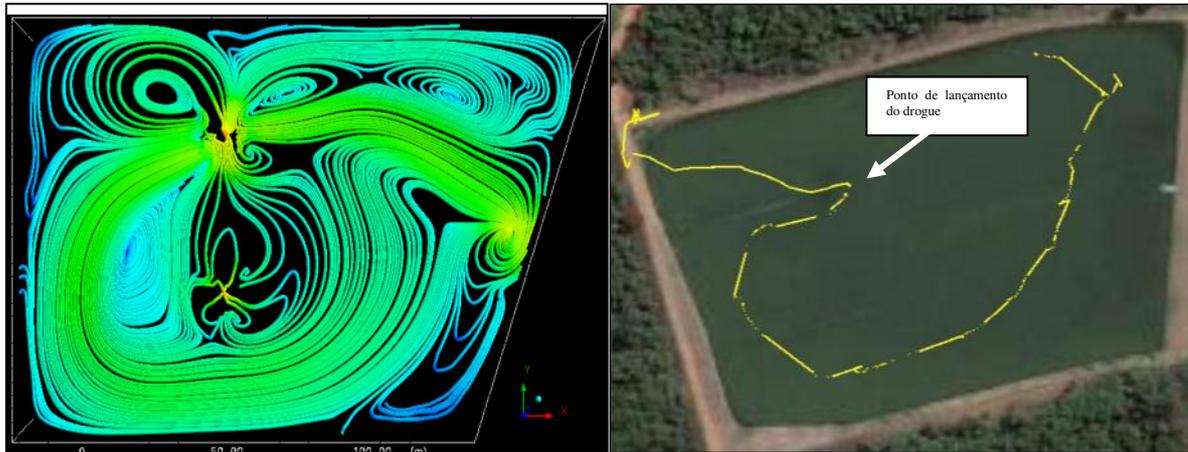


**Figura 5.99** - Linhas de fluxo na lagoa facultativa – plano XY em Z = 1,7m.

Novamente, nota-se uma corrente de fluxo principal (mais evidente) saindo da entrada norte e percorrendo a lagoa no sentido anti-horário. A entrada norte também é responsável por uma corrente de fluxo que promove um curto-circuito. Ambos os padrões estão evidenciados na figura com linhas tracejadas em vermelho. De forma geral, verifica-se um elevado grau de mistura na lagoa.

Observa-se, também na Figura 5.99, as zonas de recirculação e zonas mortas, localizadas principalmente nas proximidades da borda norte da lagoa e nos cantos, coincidindo com as áreas de maior acumulação de lodo, discutidas no item 5.3.1. Corroborando estes resultados, Alvarado *et al.* (2011) sugeriram maior acúmulo de lodo também nas regiões de zona morta e de baixa velocidade, zonas de vórtex e região de entrada do efluente.

A corrente de fluxo que percorre a lagoa no sentido anti-horário, evidenciada na Figura 5.99, se aproxima bastante do trajeto percorrido pelo drogue, já apresentado no item 5.2.3. Abaixo, as duas figuras são colocadas lado a lado para efeito de comparação (Figura 5.100). Tal semelhança sugere que o modelo hidrodinâmico representa bem as condições reais da lagoa.

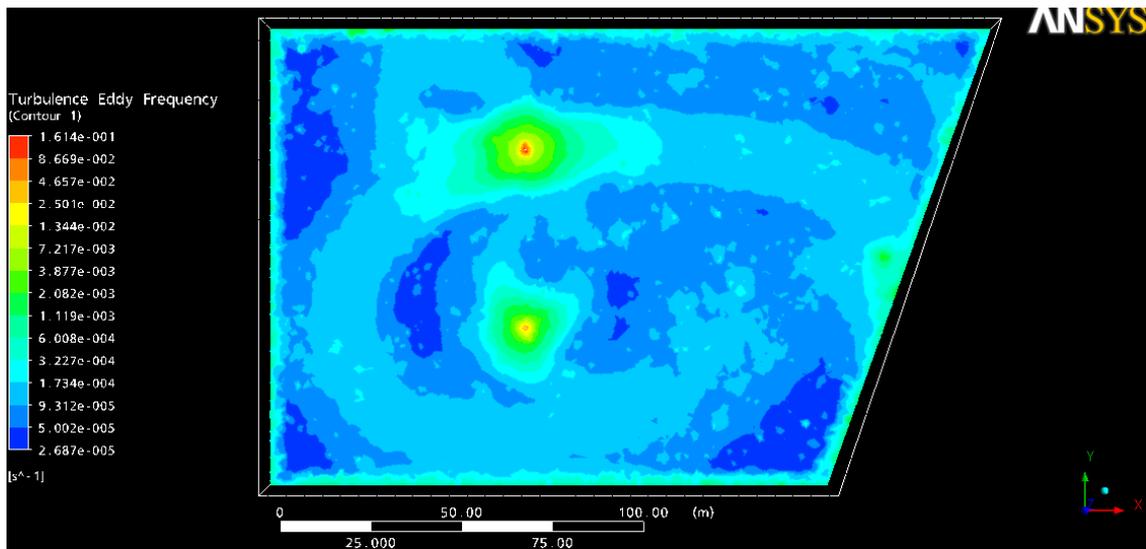


**Figura 5.100** - Comparação entre as linhas de fluxo obtidas com a modelagem e o trajeto obtido por meio do ensaio com o *drogue*.

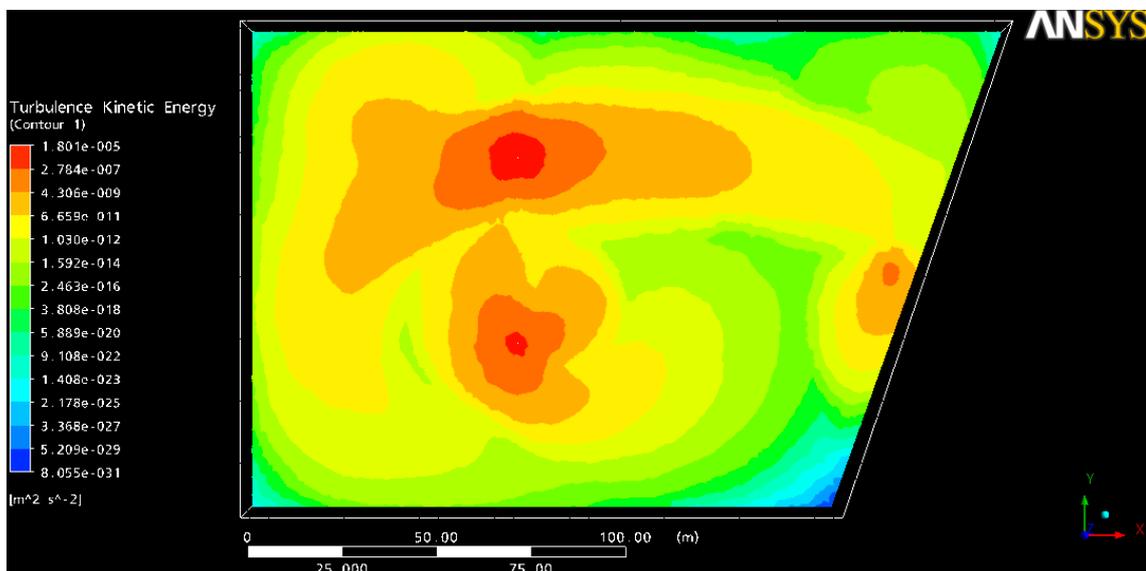
Ademais, importante salientar que o registro do trajeto foi interrompido quando se atingiu a capacidade da memória do GPS. Entretanto, após o local considerado como o fim do caminho percorrido, o drogue foi observado novamente próximo à entrada norte e posteriormente recolhido na borda sul da lagoa, sugerindo que o mesmo continuava se movendo no sentido anti-horário, possivelmente com trajetória semelhante a que foi registrada.

Shilton (2001) relata vários padrões de fluxo obtidos com ensaios com drogues em lagoas. As trajetórias dos drogues eram basicamente circulares para todos os ensaios, com a trajetória geralmente ditada pela localização da entrada do fluido.

Em relação às condições de turbulência, as figuras 5.101 e 5.102 ilustram superfícies de contorno com valores de frequência dos turbilhões (resultado da aplicação do modelo  $k-\omega$ ) e energia cinética turbulenta (decorrente do modelo  $k-\epsilon$ ), respectivamente. Em ambas as figuras, nota-se a maior turbulência nas proximidades dos dispositivos de entrada e saída e mais pronunciadamente próximo à face norte da lagoa.

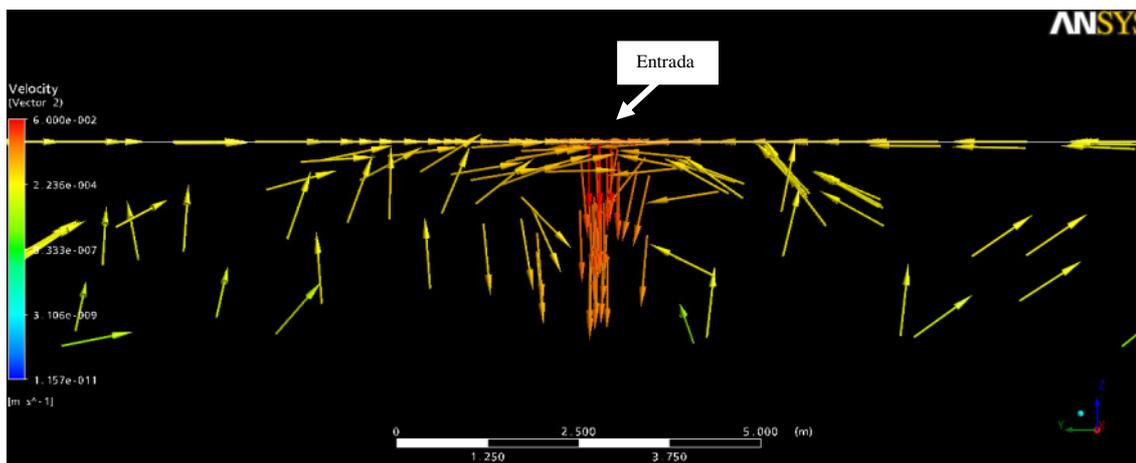


**Figura 5.101** - Superfícies de contorno – frequência dos turbilhões no plano Z = 1,7m da lagoa facultativa.

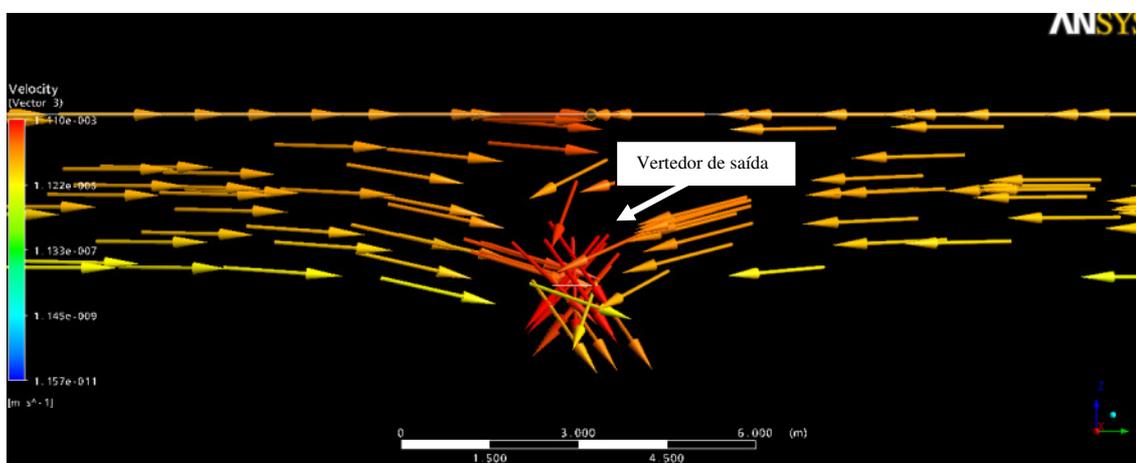


**Figura 5.102** - Superfícies de contorno – energia cinética turbulenta no plano Z = 1,7m da lagoa facultativa.

De fato, as condições de entrada nas lagoas (tubulações com curva de 90° que direcionam o fluxo para baixo) e o vertedouro de saída proporcionam a agitação do fluido nessas proximidades. As figuras 5.103 e 5.104 ilustram os vetores de velocidade nessas regiões.



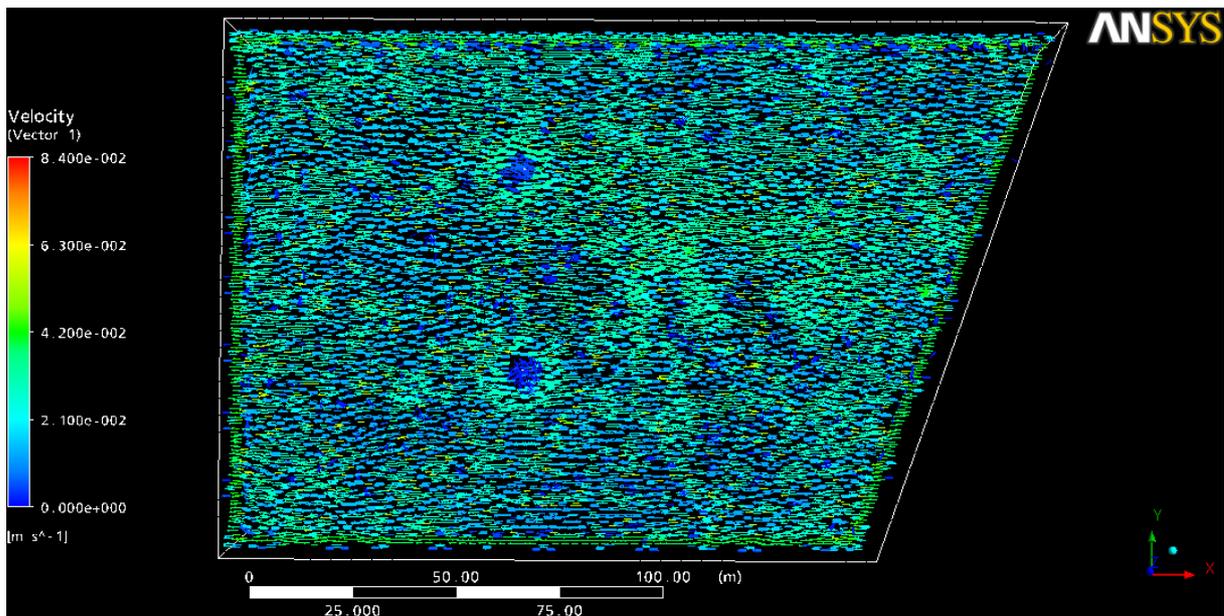
**Figura 5.103** - Vetores de velocidade na entrada da lagoa facultativa – vista em corte, plano ZY.



**Figura 5.104** - Vetores de velocidade no vertedor de saída da lagoa facultativa - vista em corte, plano ZY.

Em relação ao vento, observou-se grande influência na superfície da lagoa, fazendo com que todos os vetores de velocidade apontassem na mesma direção (Figura 5.105). Tal influência diminui ao longo da profundidade, sendo que foi verificada imposição quase que total do fluxo pelo vento nas primeiras camadas da coluna líquida da lagoa.

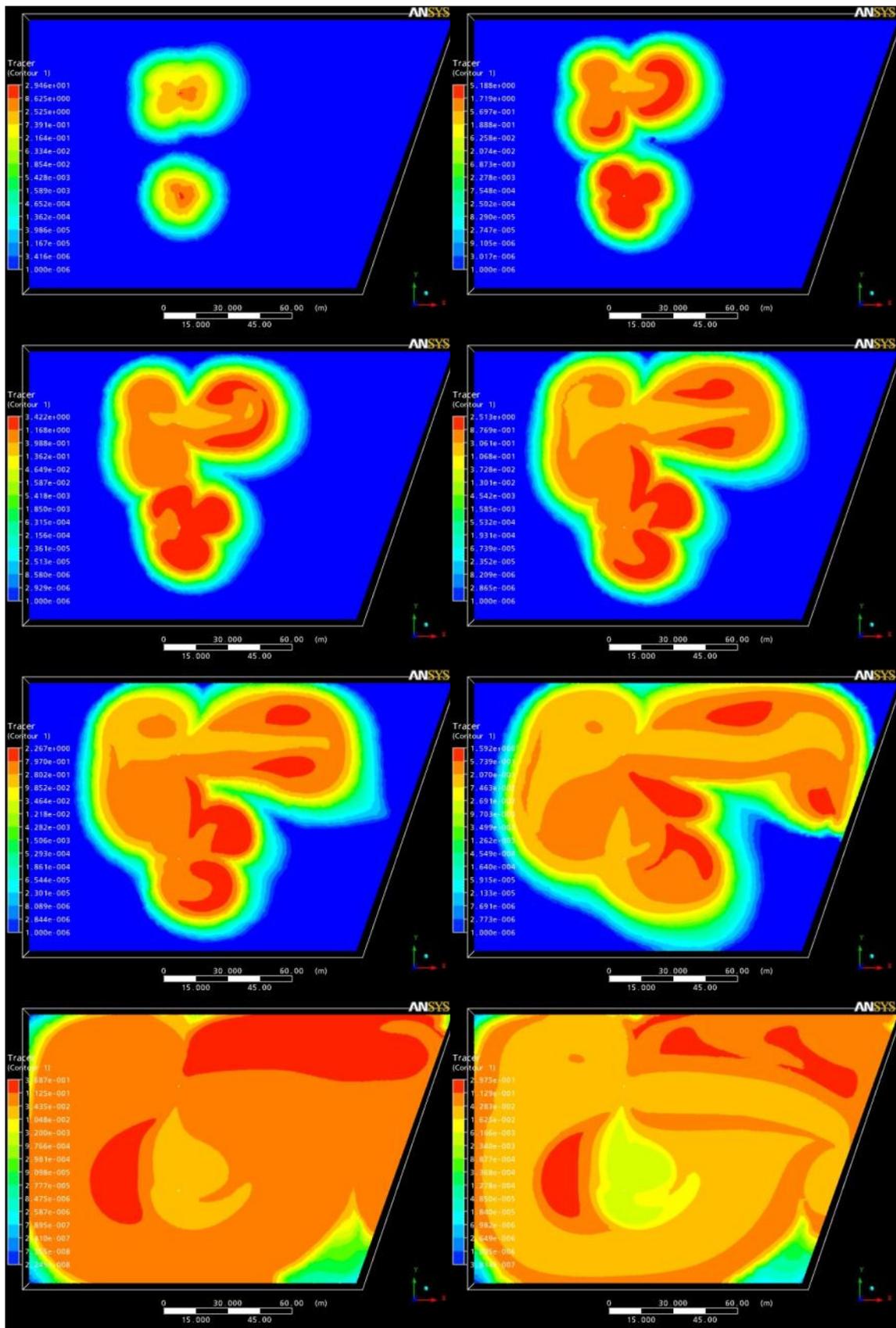
Larsen (1999) *apud* Shilton (2001) afirma que o vento influencia na superfície de um corpo d'água com 3% da sua velocidade. Este mesmo valor foi usado por Wood (1997) em simulações de CFD, após uma revisão detalhada da literatura. Portanto, foram consideradas essas referências quando da definição da velocidade do vento na superfície das lagoas, resultando no valor de 3km/h (3% de 10 km/h) na lagoa facultativa e 2,4 km/h (3% de 8 km/h) na lagoa de maturação.



**Figura 5.105** - Vetores de velocidade na superfície da lagoa facultativa – efeito do vento.

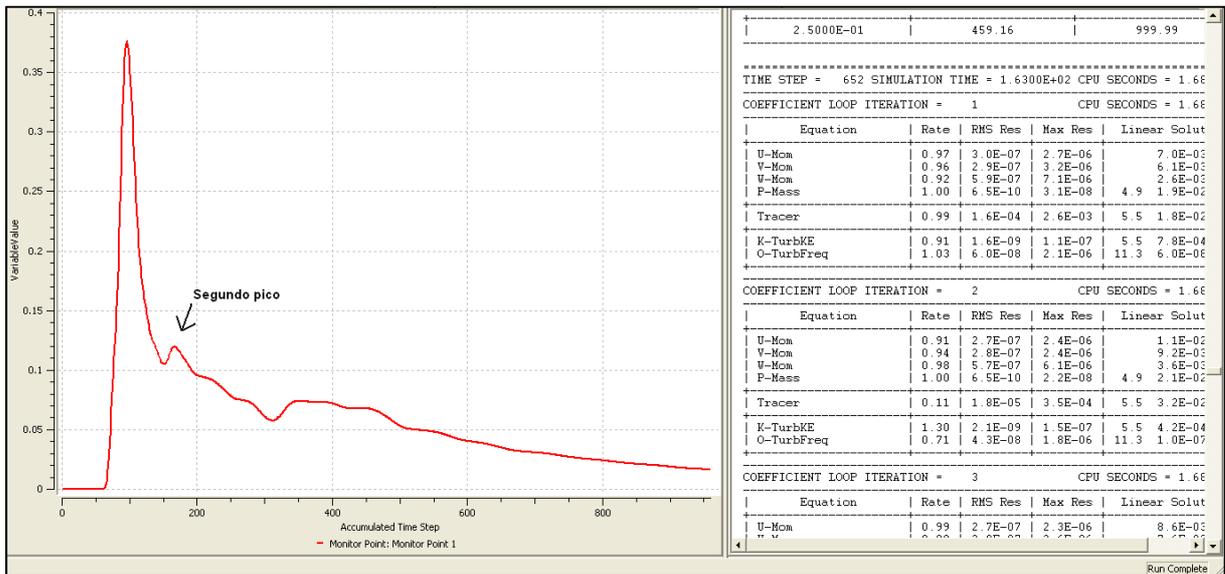
De fato, vários autores atestam que os dispositivos de entrada nas lagoas geralmente impõem as condições de fluxo, na maioria das vezes de forma mais acentuada que o vento (SHILTON, 2001; SHILTON e HARRISON, 2003a, 2003b).

De modo a avaliar o TDH real das lagoas, foi realizado um ensaio com traçador virtual, injetado em forma de pulso como um termo fonte em ambas as entradas (no mesmo instante) e monitorado a cada passo de tempo na saída, A Figura 5.106 ilustra a dispersão do traçador na lagoa em vários tempos diferentes de simulação.

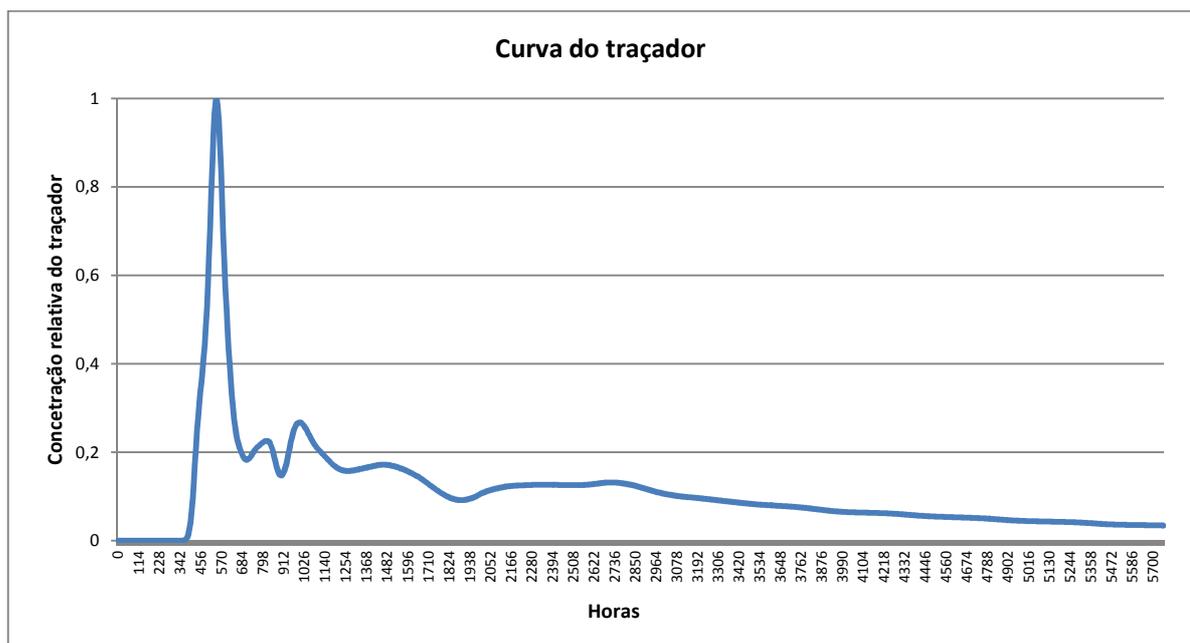


**Figura 5.106** - Superfícies de contorno – dispersão do traçador virtual na lagoa facultativa em vários tempos de simulação (após 1, 2, 5, 10, 15, 30, 50 e 240 dias, da esquerda para a direita).

Durante o processamento, o traçador na saída era monitorado (Figura 5.107). A curva resultante, normalizada para a concentração do traçador, está apresentada na Figura 5.108.



**Figura 5.107** - Monitoramento do traçador na saída da lagoa facultativa durante o processamento da simulação.



**Figura 5.108** - Curva do traçador – lagoa facultativa.

O TDH correspondente ao pico da curva foi de 24 dias, correspondendo a 30% do TDH teórico. Por meio de discretização da curva do traçador, obteve-se o TDH médio de 87 dias, bem próximo ao TDH teórico (80 dias). Os primeiros indícios do traçador na saída foram verificados no entorno do 16º dia. Decorridos 41,5 dias de simulação, observou-se um

segundo pico, que corresponde à chegada do traçador oriundo da tubulação sul da lagoa. A partir desse ponto a “cauda” da curva passa a decrescer mais lentamente.

Segundo Person (2000), de forma a mensurar o curto-circuito na lagoa, pode-se lançar mão de uma razão entre o tempo necessário para a passagem do 16º percentil da quantidade de traçador e o TDH teórico (coeficiente S), para o que se tem então a Equação 5.25:

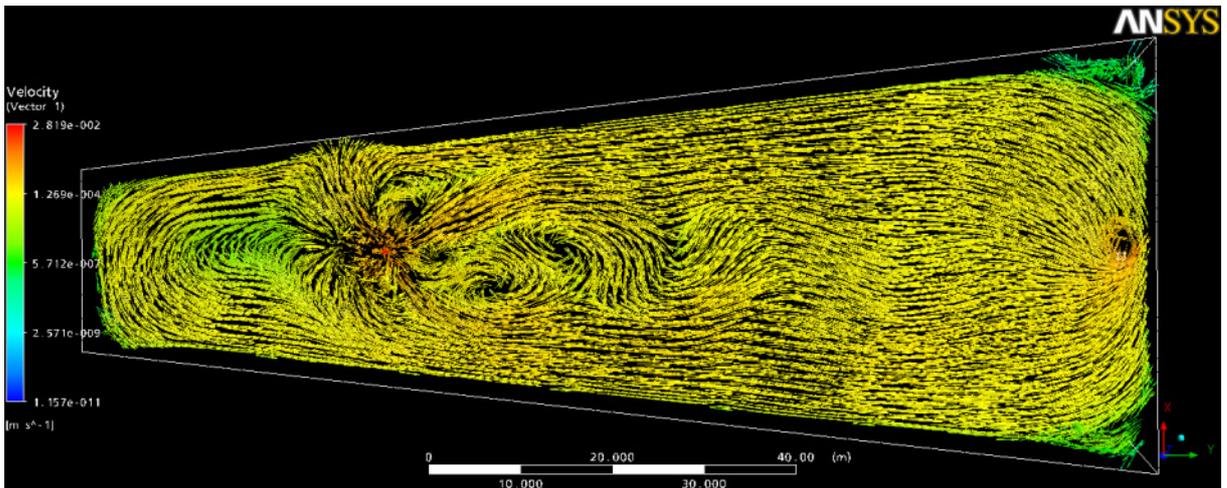
$$S = \frac{t_{16}}{t_n} \quad (5.25)$$

Tendo em vista que o registro do 16º percentil (Figura 5.108) ocorre aproximadamente após 426 h (~ 18 dias), o quociente S para a lagoa facultativa foi de 0,23. Este valor é aproximado aos valores relatados por Person (2000) para lagoas de estabilização com relação comprimento/largura de 2:1 e entrada única alinhada com a saída.

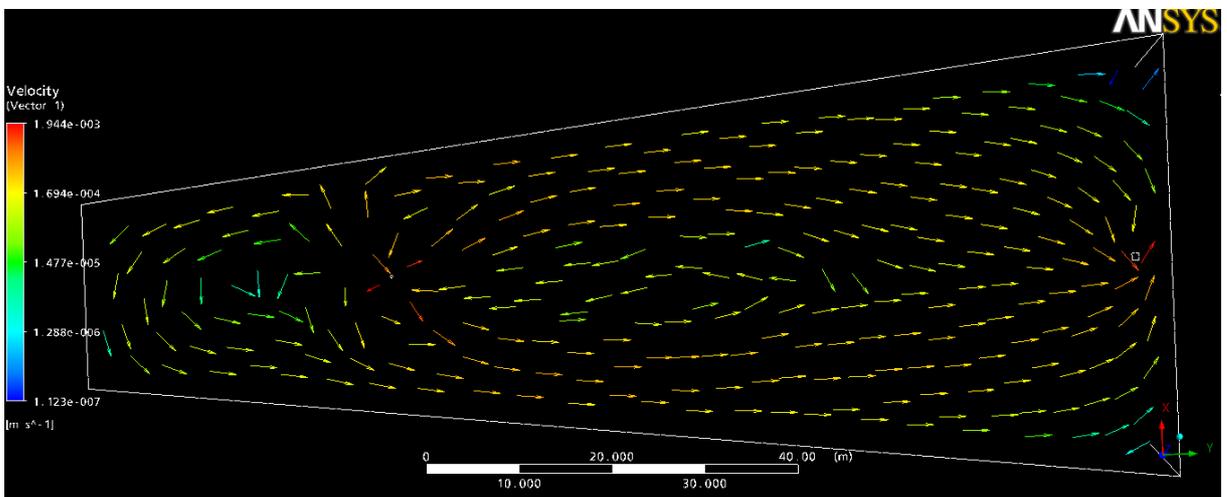
#### 5.4.2.2 Lagoa de maturação

A análise geral do fluxo na lagoa de maturação, bem como a comparação dos resultados com os ensaios hidrodinâmicos de campo seguiu a mesma linha definida para a lagoa facultativa. Para tanto, criou-se um plano longitudinal na profundidade da “vela” do drogue, qual seja, 0,6 m, bem como um plano próximo a superfície.

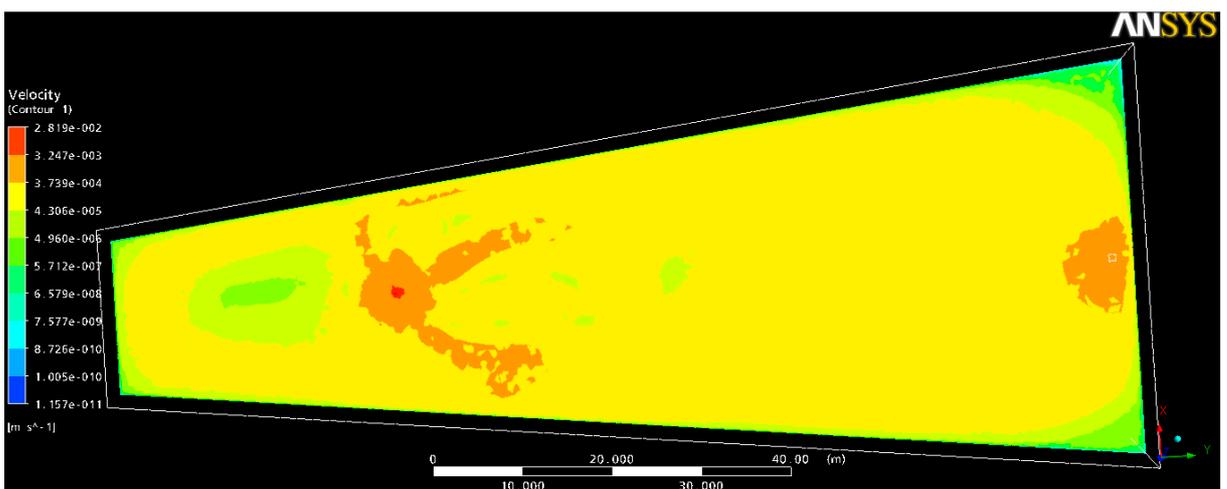
A Figura 5.109 apresenta os vetores de velocidade em cada elemento de malha na profundidade de 0,60 m. A Figura 5.110 apresenta os mesmos vetores igualmente espaçados e em menor densidade, de forma a facilitar a visualização. Já a Figura 5.111 apresenta as superfícies de contorno com os valores de velocidade. Ressalta-se que os maiores valores de velocidades ocorrem nas proximidades dos dispositivos de entrada e saída.



**Figura 5.109** - Vetores de velocidade tridimensionais na lagoa de maturação – Plano XY em  $Z = 0,6\text{m}$ .

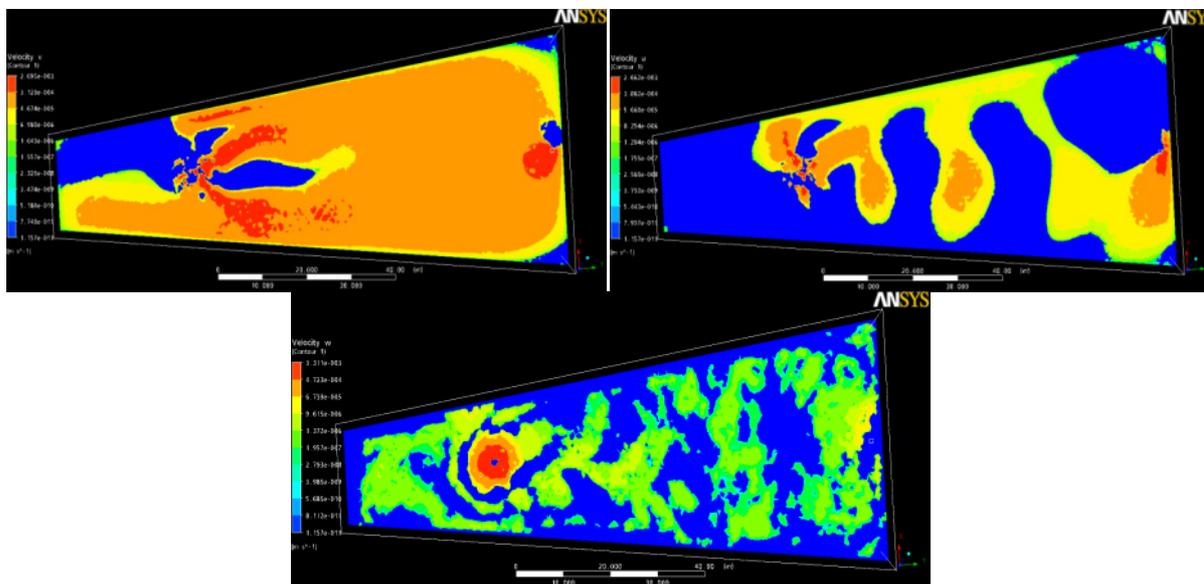


**Figura 5.110** - Vetores de velocidade na lagoa de maturação – distribuição uniforme - Plano XY em  $Z = 0,6\text{m}$ .



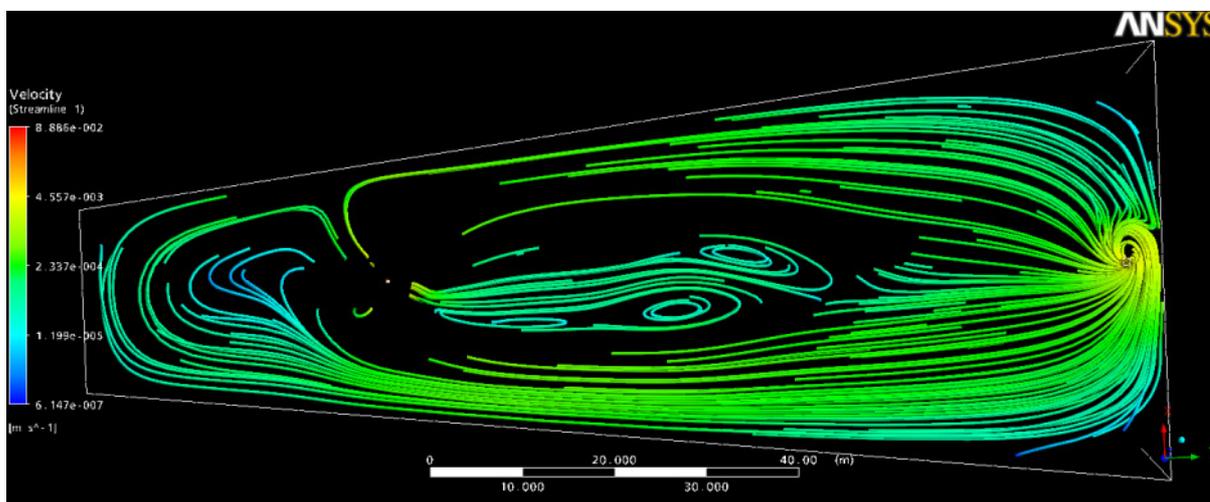
**Figura 5.111** - Superfícies de contorno com os valores de velocidade na lagoa de maturação - Plano XY em  $Z = 0,6\text{m}$ .

A Figura 5.112 demonstra, nos mesmos moldes do que foi apresentado para a lagoa facultativa, as superfícies de contorno com as velocidades nos eixos x, y e z (da esquerda para a direita).



**Figura 5.112** - Superfícies de contorno – velocidades nas direções x, y e z na lagoa de maturação - Plano XY em Z = 0,6m.

A Figura 5.113 apresenta as linhas de fluxo para o mesmo plano. As cores variam também com o valor da velocidade.



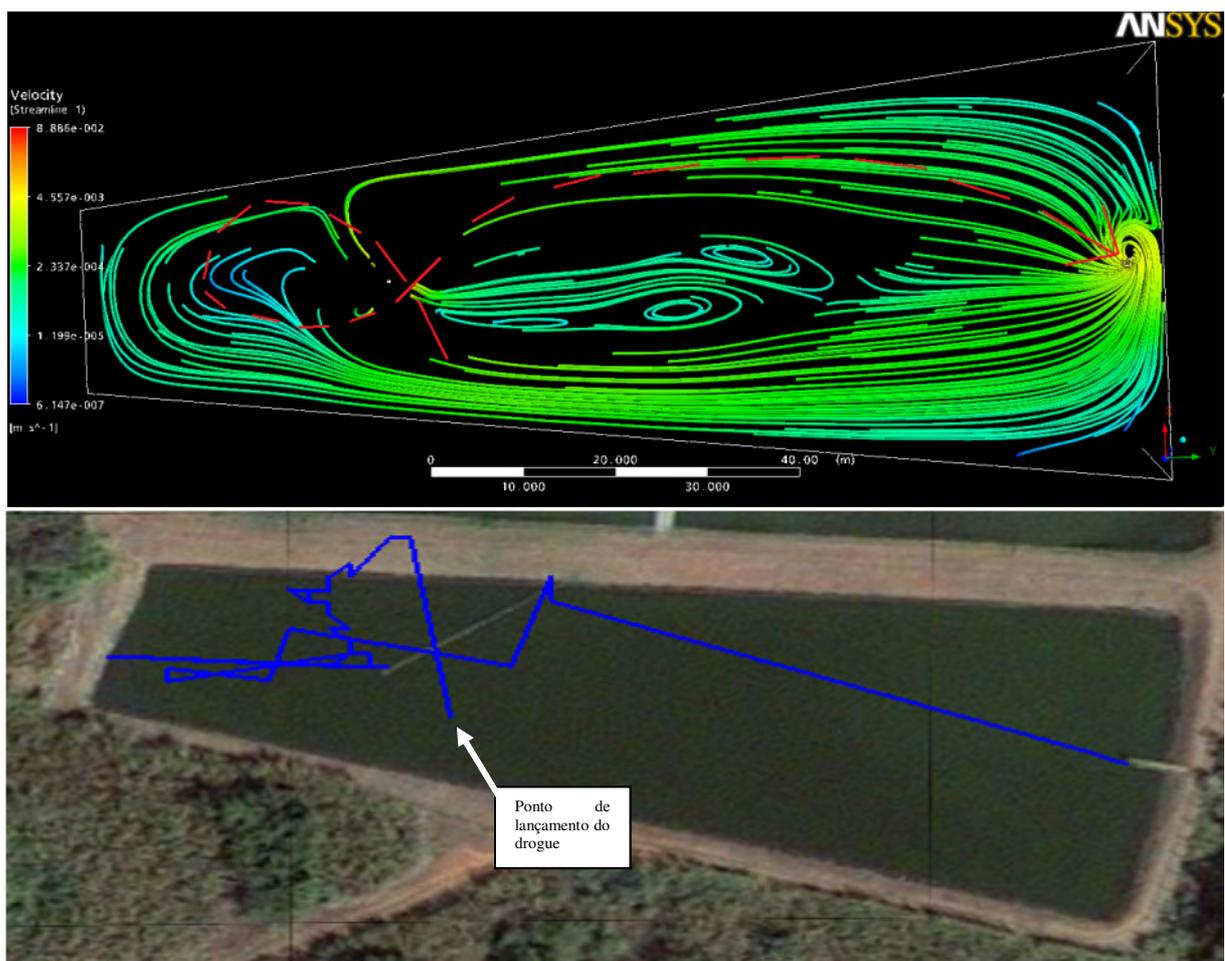
**Figura 5.113** - Linhas de fluxo na lagoa de maturação – plano XY em Z = 0,6m.

Por meio da análise das figuras, pode-se notar que as linhas de fluxo apresentam um comportamento bem definido convergente à saída. Os vórtices são notados próximos da entrada e do vertedouro de saída, assim como nos cantos ao norte da lagoa (lado direito da Figura 5.109), sendo que nestes últimos ocorrem os maiores acúmulos de lodo verificados no

levantamento batimétrico. Nota-se também a presença de dois fluxos principais divididos por células de recirculação ao centro da lagoa. O fluxo na lagoa de maturação parece se aproximar mais do fluxo em pistão que na lagoa facultativa.

Denota-se que as regiões de menor velocidade concentram-se nos cantos e no lado oposto à saída da lagoa. Tais localidades, ao serem confrontadas com o levantamento batimétrico, apresentaram as maiores concentrações de lodo, indo ao encontro do exposto por Alvarado *et al.* (2011).

Abaixo, a Figura 5.114 é apresentada ao lado da trajetória do *drogue*, de forma a ressaltar os resultados obtidos e demonstrar a representatividade do modelo hidrodinâmico computacional. As distorções presentes na imagem referem-se às incompatibilidades de *Datum* e precisão do GPS utilizado, não interferindo negativamente na constatação da trajetória obtida.

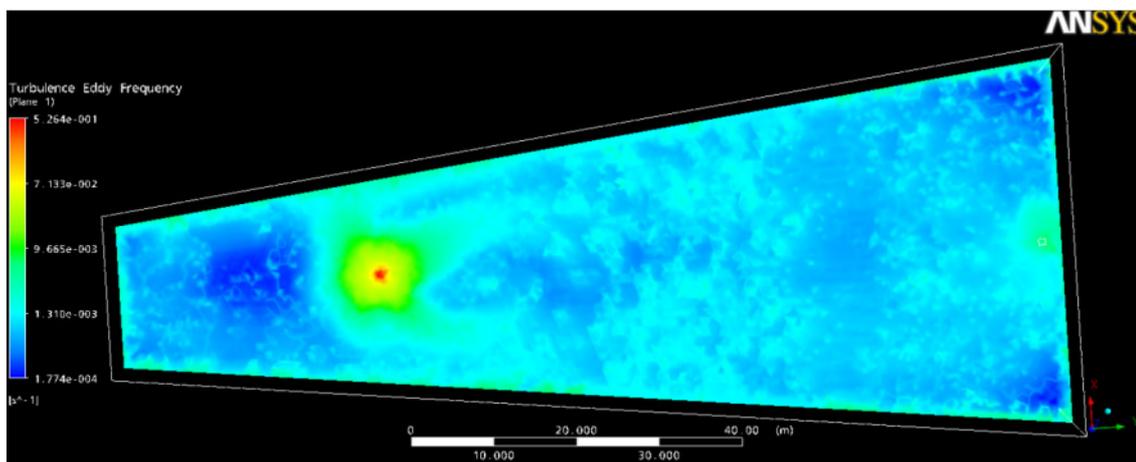


**Figura 5.114** - Comparação entre as linhas de fluxo obtidas com a modelagem e o trajeto obtido por meio do ensaio com o *drogue* – lagoa de maturação.

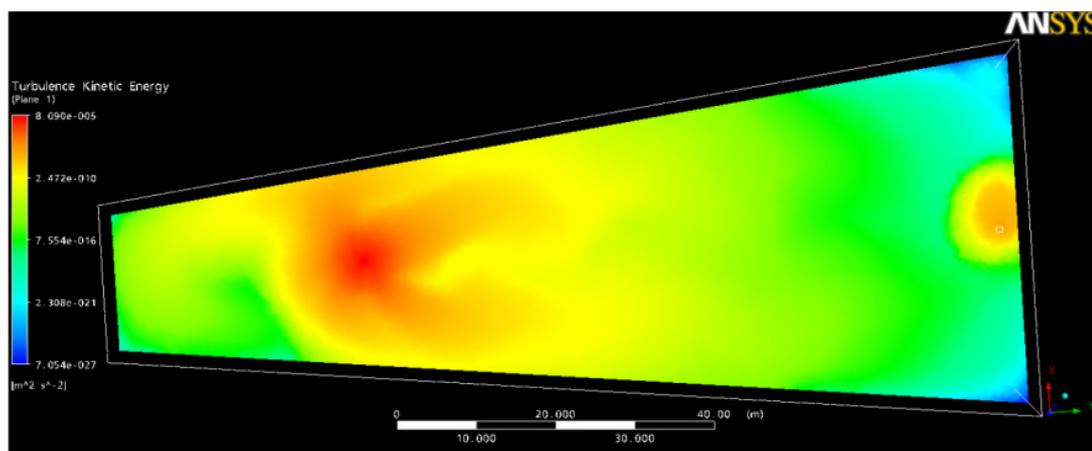
A linha vermelha tracejada na Figura 5.114 visa destacar a trajetória aproximada percorrida pelo *drogue* na lagoa. Pode-se observar que o *drogue*, ao se movimentar, assume algumas linhas de fluxo preferencial verificadas na simulação computacional. Enfatiza-se o traçado em curto-circuito no final do trajeto, que culmina em um menor valor de TDH real aferido.

A partir da observação do comportamento do *drogue* e corante, bem como das laranjas lançadas às margens da lagoa, junto à entrada e à saída, depreende-se que o modelo computacional representa satisfatoriamente os fluxos predominantes na lagoa.

No que se refere às condições de turbulência, as figuras 5.115 e 5.116 ilustram superfícies de contorno com valores de frequência dos turbilhões (modelo  $k-\omega$ ) e energia cinética turbulenta (modelo  $k-\epsilon$ ), respectivamente. Assim como verificado para a lagoa facultativa, tem-se que a maior turbulência ocorre nas proximidades dos dispositivos de entrada e saída.

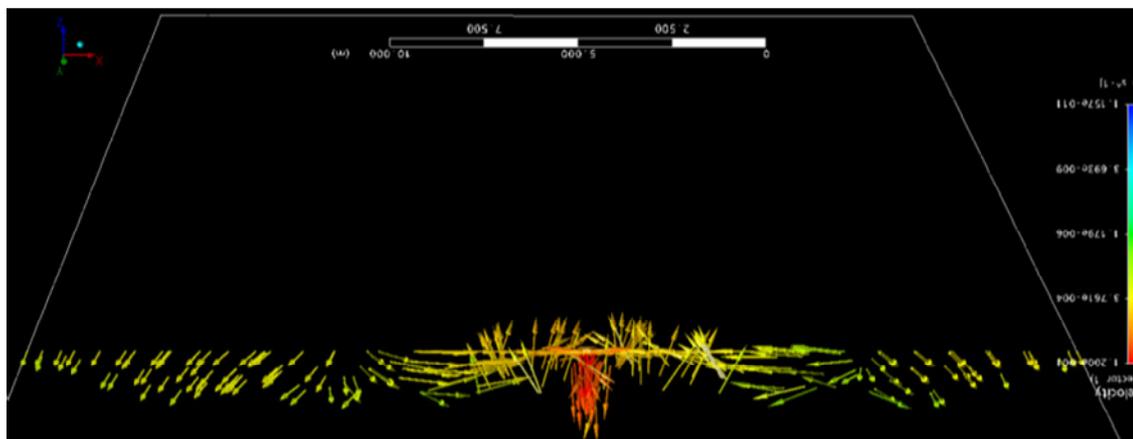


**Figura 5.115** - Superfícies de contorno – frequência dos turbilhões no plano  $Z = 0,6\text{m}$  da lagoa de maturação.



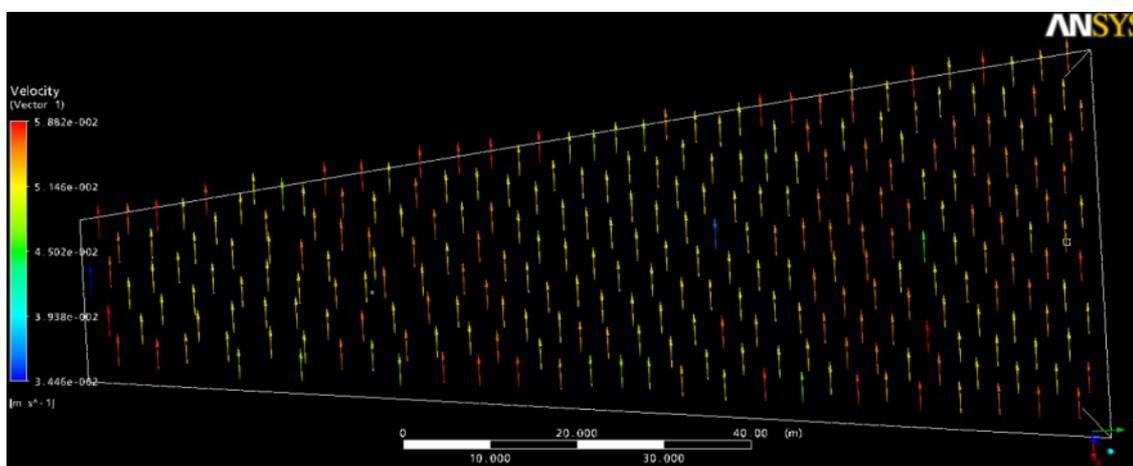
**Figura 5.116** - Superfícies de contorno – energia cinética turbulenta no plano  $Z = 0,6\text{m}$  da lagoa de maturação.

As condições de entrada e saída na lagoa de maturação, assim como evidenciado para a lagoa facultativa, induzem a maiores valores de velocidade e turbulência nessas regiões. A Figura 5.117 ilustra os vetores de velocidade junto à tubulação de entrada, conforme um plano transversal que secciona a mesma.



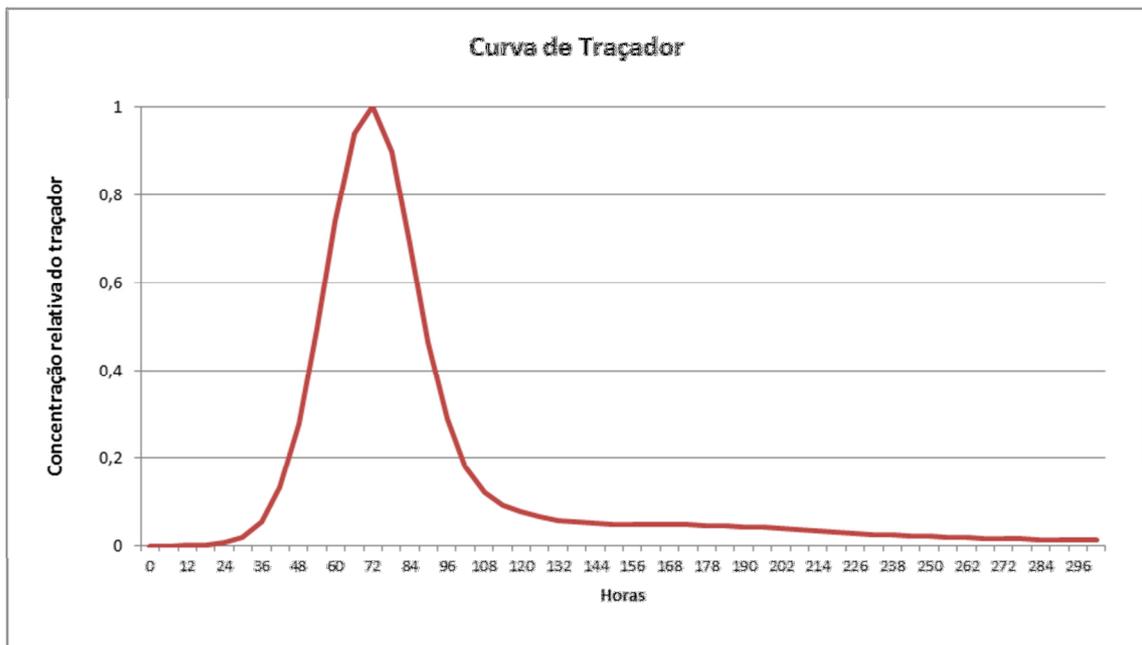
**Figura 5.117** - Vetores de velocidade na entrada da lagoa de maturação – vista em corte, plano ZY.

Quanto aos efeitos do vento no fluxo hidráulico, observa-se grande interferência no que concerne à superfície, que se restringe às primeiras camadas do líquido na lagoa (Figura 5.118).



**Figura 5.118** - Vetores de velocidade na superfície – efeito do vento na lagoa de maturação.

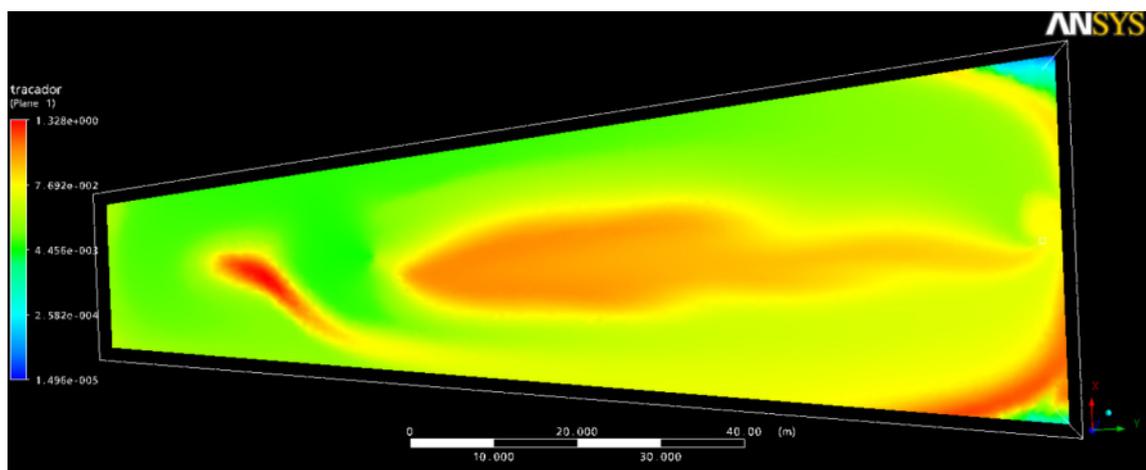
A partir do gráfico que representa o ensaio de traçador virtual realizado, obteve-se o TDH correspondente ao pico da curva foi de três dias, o que equivale a aproximadamente 43% do TDH teórico. No que tange aos primeiros indícios da presença do traçador junto à saída da lagoa, os mesmos foram verificados no 1º dia (Figura 5.119).



**Figura 5.119** - Curva do traçador – lagoa de maturação.

Cabe salientar que o TDH real obtido por meio do ensaio virtual de traçador foi igual ao tempo de detenção do *drogue* na lagoa, também de 3 dias. Para lagoas de maturação, o TDH de 3 dias é o mínimo a ser mantido (JORDÃO e PESSÔA, 2011).

A Figura 5.120 ilustra a simulação da dispersão do traçador, a partir da injeção de um corante em formato de pulso. Nota-se, a partir de uma análise da figura conjuntamente com os perfis registrados para velocidade e o ensaio de *drogue* e corante, a existência de zonas mortas nos cantos ao norte da lagoa (direita da figura), bem como um fluxo em curto-circuito na região central da mesma.



**Figura 5.120** - Dispersão do traçador no plano XY ( $Z = 0,6\text{m}$ ) – lagoa de maturação.

De maneira análoga ao que foi feito para a lagoa facultativa, ao se calcular o coeficiente S, para medida do curto circuito na lagoa de maturação, têm-se o valor de 0,27, bem próximo ao obtido para a lagoa facultativa.

#### 5.4.2.3 Números de dispersão (d) e Coeficientes de dispersão longitudinal (D)

Por meio da análise das curvas de traçador (Figuras 5.108 e 5.119), as quais relacionam a concentração normalizada do traçador versus tempo, pôde-se determinar os tempos de detenção hidráulica médios, assim como as variâncias, baseado na distribuição discreta dos intervalos de tempo medidos. Os valores obtidos foram então utilizados para determinar o número de dispersão e o coeficiente de dispersão de cada lagoa.

Tendo em vista que a curva de traçador é definida por uma distribuição discreta de intervalos de tempo, o tempo de residência hidráulica médio, pode ser aproximado por (METCALF e EDDY, 2003):

$$\bar{t}_{\Delta c} = \frac{\sum t_i C_i \Delta t_i}{\sum C_i \Delta t_i} \quad (5.26)$$

Onde:

$\bar{t}_{\Delta c}$  = tempo médio de detenção baseado na discretização do intervalo de tempo, T

$t_i$  = tempo no intervalo i de medição, T

$C_i$  = concentração no intervalo i de medição

$\Delta t_i$  = Incremento de tempo, T

Utilizando a Equação 5.26 nos dados obtidos por meio do ensaio de traçador nas duas lagoas (dados brutos no Apêndice), tem-se:

- $\bar{t}_{\Delta c} = \mathbf{2094,4 h}$  (87 dias) (lagoa facultativa)
- $\bar{t}_{\Delta c} = \mathbf{89,7 h}$  (3,7 dias) (lagoa de maturação)

Para o cálculo da variância, segundo Metcalf e Eddy (2003), tem-se:

$$\sigma_{\Delta c}^2 = \frac{\sum t_i^2 C_i \Delta t_i}{\sum C_i \Delta t_i} - (\bar{t}_{\Delta c})^2 \quad (5.27)$$

A aplicação da Equação 5.27 nos dados das duas lagoas resultou nos seguintes valores de variância:

- $\sigma_{\Delta c} = 1439,31h$  (lagoa facultativa)
- $\sigma_{\Delta c} = 46,98h$  (lagoa de maturação)

Ainda segundo os autores anteriormente citados, pode-se estimar o número de dispersão (d) em um reator (lagoa) a partir da Equação 5.28:

$$d \approx \frac{1}{2} \frac{\sigma_{\Delta c}^2}{\tau^2} \quad (5.28)$$

Para o que se obtém os valores:

- $d = 0,28$  (lagoa facultativa)
- $d = 0,039$  (lagoa de maturação)

O coeficiente de dispersão longitudinal (D) também pôde ser determinado, conhecendo-se o comprimento longitudinal da lagoa e a velocidade média do fluido ao longo deste eixo e lançando-se mão da Equação 5.29:

$$D = d \times u \times L \quad (5.29)$$

Obtendo-se dessa maneira:

- $D = 1,12 \times 10^{-3} m^2 / s$  (lagoa facultativa)
- $D = 9,23 \times 10^{-4} m^2 / s$  (lagoa de maturação)

Segundo Metcalf e Eddy (2003), os seguintes valores do número de dispersão (d) podem ser utilizados para avaliar o grau de dispersão em unidades de tratamento de esgotos (Tabelas 5.48):

**Tabela 5.48** - Graus de dispersão em unidades de tratamento de esgotos (METCALF e EDDY, 2003).

<b>Grau de dispersão</b>	<b>Número de dispersão (d)</b>
Nenhuma dispersão	d = 0 (fluxo em pistão ideal)
Dispersão baixa	d ≤ 0,05
Dispersão moderada	0,05 < d < 0,25
Dispersão elevada	d ≥ 0,25
	d → ∞ (mistura completa)

Na lagoa facultativa, o valor obtido para o número de dispersão (d = 0,28) reporta a uma condição de elevada dispersão, mais aproximado do regime de mistura completa, ao passo em que, na lagoa de maturação, têm-se uma condição de baixa dispersão (d = 0,039), caracterizando o reator como mais próximo ao regime de fluxo em pistão.

Von Sperling (2002) apresenta equações empíricas de literatura para estimativa do número de dispersão (Equações 5.30 a 5.33):

Polprasert e Batharai (1983):

$$d = \frac{0,18 t \cdot v \cdot (B + 2H)^{0,489} \cdot B^{1,511}}{(LH)^{1,489}} \quad (5.30)$$

Agunwamba *et al.* (1992), fórmula original simplificada:

$$d = 0,102 \left( \frac{(3 \cdot (B + 2H) \cdot t \cdot v)}{4 \cdot L \cdot B \cdot H} \right)^{-0,410} \cdot \left( \frac{H}{L} \right) \cdot \left( \frac{H}{B} \right)^{-(0,981 + 1,385 \cdot H / B)} \quad (5.31)$$

Yanez (1993):

$$d = \frac{(L/B)}{-0,261 + 0,254 \cdot (L/B) + 1,014 \cdot (L/B)^2} \quad (5.32)$$

Von Sperling (1999):

$$d = \frac{1}{L/B} \quad (5.33)$$

onde:

L = comprimento da lagoa (m)

B = largura da lagoa (m)

H = profundidade da lagoa (m)

$\nu$  = viscosidade cinemática da água (m<sup>2</sup>/d)

t = tempo de detenção hidráulica (d)

sendo  $\nu = 0,325.T^{-0,450}$  (Von Sperling (1999), para T = 10 a 30°C, R<sup>2</sup> = 0,986)

Aplicando-se tais equações nas lagoas obtêm-se os números da Tabela 5.49. Como as equações foram formuladas para serem utilizadas em caso de projetos de novas instalações, utilizou-se o TDH teórico para a mesma vazão aplicada no modelo em CFD (80 dias para a lagoa facultativa e 7,4 dias para a lagoa de maturação) para efeitos de comparação entre os números de dispersão obtidos com as equações empíricas e os números de dispersão obtidos com as curvas de traçador.

**Tabela 5.49** – Números de dispersão (d) obtidos para as duas lagoas com base em equações de literatura e comparação com os obtidos com as curvas de traçador.

	Lagoa facultativa	Lagoa de maturação
Polprasert e Batharai (1983)	1,61	0,08
Agunwamba <i>et al.</i> (1992)	0,50	0,34
Yanez (1993)	0,66	0,27
Von Sperling (1999)	0,70	0,29
<b>Curva do traçador</b>	<b>0,28</b>	<b>0,039</b>

Observa-se que os valores obtidos por meio das curvas de traçador foram bastante inferiores aos valores obtidos com as equações de literatura. Em relação a essas equações, importante destacar que são empíricas e geralmente utilizadas para prever o valor do número de dispersão “d” quando do projeto de futuras instalações (VON SPERLING, 2002). Ademais, suas

formulações não contemplam fatores de grande influência no comportamento hidrodinâmico das lagoas, como as condições de entrada e saída, distribuição das vazões e turbulência.

Em contrapartida, os valores obtidos com o modelo em CFD são relativos a ensaios virtuais com traçadores e, como tal, incorporam todas as incertezas inerentes à modelagem.

## 6 CONCLUSÕES

- De todos os dados, o valor mínimo de TDH apresentado pela lagoa facultativa foi de 75 dias (TDH médio de 193 dias), com bastante folga quanto aos valores mínimos recomendados. Em relação a lagoa de maturação, o TDH mínimo apresentado foi de 7 dias (médio de 18 dias), também indicando que a unidade operou com valores de TDH superiores aos usuais para lagoas de maturação únicas. Portanto, as unidades operaram em subcarga quanto aos valores de TDH.
- De forma geral, o efluente do aeroporto apresentou concentrações semelhantes ou ligeiramente inferiores às do esgoto doméstico para a maioria dos parâmetros, apresentando tendências de esgotos mais diluídos. As concentrações médias de DBO, DQO, SST, SSV, SSF, fósforo total, óleos e graxas, cloreto e detergentes total se situaram abaixo da típica reportada em literatura para esgotos domésticos. Já as concentrações de nitrogênio amoniacal e a alcalinidade superaram os valores típicos de literatura. As relações SSV/SST e DBO/DQO estiveram dentro dos limites comumente observados em efluentes domésticos e de boa degradabilidade. Ainda, a relação DBO/N/P indicou não haver limitações de nutrientes para a atividade biológica.
- As contribuições pontuais de efluentes com possíveis características não domésticas (cloaca e efluente da ETEI do hangar da GOL) parecem não interferir negativamente no tratamento. Entretanto, a caracterização físico-química do efluente sanitário das aeronaves indicou concentrações de DBO, DQO, SST, SSV, SSF, Óleos e Graxas, Fenóis, Nitrogênio Total, Nitrogênio Amoniacal, Nitrato, Fósforo Total e pH superiores às típicas de esgotos domésticos.
- Nota-se que, no geral, a ETE não apresentou eficiência global satisfatória na remoção de matéria orgânica (principalmente quanto à remoção de DQO) e sólidos. Considerando que a lagoa facultativa apresentou eficiência razoável na remoção desses parâmetros, conta-se que a presença de algas na saída da lagoa de maturação muito provavelmente contribuiu para as eficiências negativas na unidade e na baixa eficiência da ETE como um todo. Os altos valores de pH e OD no efluente final indicam a elevada atividade das algas na lagoa de maturação.
- A ETE apresentou ótima eficiência na remoção de E. coli, principalmente devido à elevada remoção que ocorreu na lagoa facultativa, resultante das condições ambientais favoráveis e do elevado TDH na mesma. Ao contrário da lagoa de maturação, na lagoa facultativa foi

observada alguma relação entre o incremento de pH e OD e a remoção de E. coli, apesar da grande dispersão dos dados.

- Observou-se boa remoção na ETE também em relação aos nutrientes, notadamente na lagoa facultativa (boa remoção de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e fósforo total). Na lagoa de maturação foi observada uma pequena remoção de nitrogênio amoniacal e não houve remoção significativa de nitrogênio total e fósforo total.
- As análises de fitoplâncton indicaram predominância de algas do filo Chlorophyta, normalmente encontradas em lagoas de estabilização em bom funcionamento. Possivelmente, os altos valores de pH nas lagoas e a baixa carga afluyente de matéria orgânica propiciaram tal condição.
- A ETE atendeu satisfatoriamente a legislação estadual para a maioria dos parâmetros, exceto DQO e pH. Em relação a DQO, pouco mais de 50% dos dados de concentração efluente estiveram dentro do padrão, sendo a eficiência média de remoção inferior à mínima requerida. Já em relação ao pH, menos de 25% dos dados de pH do efluente estiveram dentro do padrão. Cabe ressaltar que, por se tratar de um sistema de lagoas, cuja última unidade é uma lagoa de maturação, é de se esperar altos valores de pH no efluente do sistema. De fato, o efluente da lagoa de maturação atingiu valores de até 11 e dificilmente atingiria o limite apontado pela legislação.
- Foi observado que os ventos predominantes na área da ETE sopram para oeste, no sentido contrário à direção do efluente na lagoa facultativa (da saída para a entrada) e no sentido perpendicular ao fluxo na lagoa de maturação, influenciando consideravelmente o fluxo na camada superficial da lagoa. Tal influência foi verificada com a observação das laranjas lançadas na superfície das lagoas e por meio da modelagem em CFD.
- O corante utilizado foi de difícil visualização, principalmente quando a intenção era a observação na chegada do efluente (tubulações de entrada). O corante permanecia nas camadas sub-superficiais das lagoas e demorava a surgir na superfície, mesmo muito pouco visível. Quando lançado superficialmente, a dispersão era melhor verificada, mas para isso exigia acompanhamento de perto. Em um ponto alto da área da ETE, onde era possível ver as lagoas completamente, o reflexo do sol e a distância não permitiram o registro das plumas de corante continuamente ao longo do tempo.

- O drogue, concebido e montado como parte da presente pesquisa, apresentou resultados amplamente satisfatórios. Constatou-se limitação em relação à memória do GPS (para o caso de grandes lagoas) e a própria configuração do aparelho. O vento pareceu não influenciar a trajetória do drogue, nem houve perda de sinal devido à imersão no fluido. As trajetórias registradas corresponderam ao verificado em campo e, quando exportadas para o software Google Earth®, caíram exatamente onde deveriam, fato constatado quando da verificação do ponto de lançamento.
- O levantamento batimétrico das lagoas feito de forma manual, por meio de um medidor construído especificamente para esse fim, de baixo custo, que se mostrou bastante satisfatório na aferição da espessura da camada de lodo.
- O uso da ferramenta de SIG (Sistema de Informação Geográfica) para construção dos modelos de distribuição espacial do lodo também se mostrou satisfatório, já que os mapas obtidos corresponderam bem à situação verificada durante o levantamento. Através do modelo, foi possível estimar o volume de lodo acumulado durante os 27 anos de operação; os locais de acúmulo preferencial (nas bordas e próximo aos dispositivos de entrada e saída do esgoto) além das taxas médias de acúmulo (em  $m^3/pax.ano$  e  $cm/ano$ ). Destaca-se a predominância de acúmulo em uma das laterais da lagoa facultativa, situação causada pela distribuição desigual do afluente entre as duas tubulações de entrada na lagoa, e a consistência arenosa do lodo nas proximidades das entradas na lagoa facultativa, indicando aporte de areia na unidade (a ETE não possui desarenadores).
- Valores obtidos para a taxa de acúmulo, em relação ao número de passageiros, foram inferiores aos registrados na literatura (em relação ao número de habitantes), o que pode ser explicado pela dinâmica de movimentação de passageiros, que é totalmente distinta da dinâmica populacional de uma cidade, por exemplo. Dados similares para a comparação, em  $m^3/pax.ano$ , não foram encontrados na literatura.
- A modelagem em CFD demonstrou ser bastante útil na avaliação das condições hidrodinâmicas de lagoas de estabilização, reforçando uma tendência que vem se consolidando com as pesquisas recentes na área, principalmente internacionais (no Brasil, há poucas referências). A partir do modelo, foi possível verificar a ocorrência de curtos-circuitos, zonas mortas, zonas de recirculação e vórtex, dispersão de constituintes e uma estimativa mais próxima do TDH real das lagoas, por meio de um teste de traçador virtual.

- Na lagoa facultativa, o valor obtido para número de dispersão, a partir do teste de traçador, reportou a uma condição de elevada dispersão, tendendo para o regime de mistura completa, ao passo em que, na lagoa de maturação, obteve-se uma condição de baixa dispersão caracterizando o reator como mais próximo ao regime de fluxo em pistão
- A partir dos ensaios hidrodinâmicos de campo, mesmo que apenas qualitativos, é possível afirmar que o modelo computacional em CFD correspondeu bem à situação verificada em campo, podendo ser utilizado como auxiliar na tomada de decisão para melhorias futuras na ETE, como a otimização do fluxo nas lagoas. De forma mais geral, destaca-se a potencialidade da ferramenta (CFD) na utilização em projetos de lagoas.

## 7 RECOMENDAÇÕES

A partir do que foi levantado, apresentado e discutido no presente trabalho, recomenda-se a investigação mais aprofundada ou continuação das pesquisas quanto aos seguintes pontos:

- Realização de análises de clorofila no efluente da ETE a fim de se concluir a respeito da magnitude da influência das algas na qualidade do mesmo;
- Utilização de outros métodos de estatística para discussão mais aprofundada dos dados e relações entre parâmetros;
- Realização de ensaios de tratabilidade, biodegradabilidade e toxicidade do efluente da cloaca;
- Ensaios quantitativos com traçadores para obtenção do TDH real e comparação com os resultados da modelagem;
- Realização de ensaios sistemáticos com o tipo de droga concebido na presente pesquisa, de forma a se concluir a respeito da sua aplicabilidade nas avaliações de fluxo em lagoas;
- Realização da modelagem em CFD considerando a geometria do lodo e a estratificação térmica.

Já em relação a melhorias possíveis de serem implementadas na ETE, pode-se sugerir, a partir deste trabalho as seguintes adequações, seguidas de uma breve justificativa:

- Inclusão de um desarenador no tratamento preliminar:

A areia contida no esgoto a ser tratado pode ser oriunda da infiltração, nos PV's, das águas de chuva carreando sedimentos (possivelmente oriundos da movimentação de terra nos canteiros das obras de ampliação e modernização do aeroporto, ora em andamento, ou até mesmo da lavagem de pisos, e desagregação natural das partículas do solo). Tal situação pode ocasionar perdas de eficiência no tratamento já que podem causar a abrasão e obstrução de equipamentos e tubulações, dificultar o transporte do líquido por todo o processo além de contribuir com a redução do volume útil da lagoa.

- Remoção do lodo nas lagoas:

A remoção do lodo aumentaria o volume útil das lagoas e melhoraria o fluxo (redução dos curtos-circuitos).

- Distribuição igualitária da vazão de entrada na lagoa facultativa:

A distribuição igualitária da vazão pode melhorar o fluxo na lagoa facultativa, na medida em que se teria a diminuição dos curtos-circuitos e distribuição mais igualitária do lodo.

- Recuo das tubulações de entrada em ambas as lagoas e inclusão de chicanas na lagoa facultativa.

O controle da dispersão longitudinal nas lagoas de estabilização é influenciado pelos dispositivos de entrada e saída, geometria das lagoas e da utilização de chicanas nestes sistemas. As chicanas são barreiras (fixas ou removíveis) que dividem a lagoa em canais paralelos direcionando o fluxo hidráulico do sistema e aproximando-o ao regime pistonado, que é teoricamente mais eficiente que os sistemas de mistura completa. Logo, a inserção de chicanas na lagoa existente melhora a qualidade do efluente, pois induziria o líquido a percorrer a lagoa em toda a extensão diminuindo a existência das “zonas mortas” (também evidenciadas no modelo hidrodinâmico).

- Inclusão de filtro grosseiro na porção final da lagoa de maturação.

A instalação de tal dispositivo teria a função de remoção das algas, tendo em vista o enquadramento do efluente gerado aos padrões de lançamento nos corpos receptores, evitando-se prejuízos como aumento da DBO/DQO/SS. As vantagens deste método estão no custo relativamente baixo e simplicidade operacional.

- Pré-tratamento do efluente da cloaca.

Apesar de aparentemente não influenciar a qualidade final do esgoto bruto, afluente à ETE, o efluente da cloaca apresenta características industriais. Recomenda-se pré-tratamento antes de ser encaminhado para a ETE.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, H.; NARS, R.; SEIF, H. Study of waste stabilization pond geometry for the wastewater treatment efficiency. *Ecological Engineering*, 28, p. 25-34, 2006.
- AGUIAR, M. M.; SILVA, S. R.; MENDONÇA, A. S. F. Eficiência na remoção de coliformes fecais em lagoas de estabilização na grande Vitória - ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997, Foz do Iguaçu. [Anais...] Foz do Iguaçu: ABES, 1997. 1 CD-ROM.
- ALCOCER, J.; LUGO, A.; LÓPEZ, A.; SÁNCHEZ, M. R. Efficiency of a waste stabilization pond system in a subtropical area of Mexico. *Rev. Int. Contam. Ambient*, v. 9, n. 1, p. 29-36, 1993.
- ALVARADO, A.; SANCHEZ, E.; DURAZNO, G.; VESVIKAR, M.; NOPENS, I. CFD analysis of sludge accumulation and hydraulic performance in ucubamba WSP (Cuenca, Ecuador). In: IWA SPECIALIST CONFERENCE ON WASTE STABILISATION PONDS, 9, 2011. Adelaide, Australia: IWA, 2011.
- ALVARADO, A.; VEDANTAN, S.; GOETHALS, P.; NOPENS, I. A compartmental model to describe hydraulics in a full-scale waste stabilization pond. *Water Research*, 46, n. 2, p. 521 – 530, 2012.
- ANDRADA, J. G. B. *Utilização de filtros grosseiros para remoção de algas presentes em efluentes de lagoas de polimento*. 2005. 115 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- ASSUNÇÃO, F. A. L. *Estudo da Remoção de Nitrogênio, com Ênfase na Volatilização de Amônia, em Lagoas de Polimento de Efluentes de Reatores UASB Tratando Esgotos Urbanos de Belo Horizonte/MG*. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- ANSYS CFX 11.0. *User manual*, ANSYS Europe Ltd., 2006.
- ARAÚJO, A. L. C.; DUARTE, M. A. C.; VALE, M. B. do. Avaliação de quatro séries de lagoas de estabilização na grande Natal na remoção de matéria orgânica e coliformes fecais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville. [Anais...] Joinville: ABES, 2003. 1 CD-ROM.
- BALÉO, J-N.; HUMEAU, P.; CLOIREC, P. Numerical and experimental hydrodynamic studies of a lagoon pilot. *Water Research*, v. 35, n. 9, p. 2268-2276, 2001.
- BANDA, C. G.; SLEIGH, P. A.; MARA, D. D. (2006a). CFD-Based Design of Waste Stabilization Ponds: Significance of Wind Velocity. In: IWA SPECIALIST CONFERENCE ON WASTE STABILIZATION PONDS, 7, 2006, Bangkok. [Anais...] Bangkok: IWA, 2006.
- BANDA, C. G.; SLEIGH, P. A.; MARA, D. D. (2006b). 3D-CFD Modelling of *E. coli* Removal in Baffled Primary Facultative Ponds: Classical Design Optimization. In: IWA SPECIALIST CONFERENCE ON WASTE STABILIZATION PONDS, 7, 2006, Bangkok. [Anais...] Bangkok: IWA, 2006.
- BARROSO, G. F.; DIAS Jr., C.; GÜNTZEL, A. Preliminary assessment of the eutrophication potential of sewage effluents of four wastewater treatment plants in Espírito Santo State (Brazil). *Ver. Internat. Verein. Limnol.*, 26, p. 666-670, 1997.

- BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; NUNES, F. L.; SOEIRO, G. P.; SILVA, C. V.; FREITAS, A. S. Avaliação do tratamento de esgotos sanitários em lagoas de estabilização tendo em vista a utilização do efluente na agricultura e piscicultura. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28, 2002, Cancún, 2002. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, AIDIS. Gestión inteligente de los recursos naturales: desarrollo y salud. México: D.F, FEMISCA, 2002. p.1-8.
- BRISAUD, F.; LAZAROVA, V.; DUCOUP, C.; JOSEPH, C.; LEVINE, B.; TOURNOUD, M. Hydrodynamic behaviour and faecal coliform removal in a maturation pond. *Water Science and Technology*, v. 42, n. 10-11, p. 119-126, 2000.
- BRITO, M. C. S. O. M.; CHERNICHARO, C. A. L.; VON SPERLING, M. Avaliação intensiva de um sistema UASB - lagoa de maturação com chicanas na cidade de Itabira - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997, Foz do Iguaçu. [Anais...] Foz do Iguaçu: ABES, 1997. 1 CD-ROM.
- BRITO, M. C. S. O. M. Avaliação intensiva de um sistema UASB - lagoa de maturação com chicanas em escala piloto tratando efluentes de um reator UASB em Itabira - MG. 1997. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.
- CAVALCANTI, P. F. F.; VAN HAANDEL, A. C.; KATO, M. T.; VON SPERLING, M.; LUDUVICE, M. L.; MONTEGGIA, L. O. Pós-tratamento de efluentes de reatores aneróbios por lagoas de polimento. In: CHERNICHARO, C. A. L. (coordenador). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – PROSAB/FINEP. Rio de Janeiro: ABES, 2001. p 105-170.
- CHAPPLE, L. A Study of Bacterial Kinetics and Hydraulic Shortcircuiting Masterate. 1985. Tese - Department of Civil Engineering, University of Queensland; Brisbane, Australia. 1985.
- CHERNICHARO, C. A. L. *Princípio do Tratamento Biológicos de Águas Residuárias*. Vol. 5: Reatores Anaeróbios. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2007. 379 p.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 357, de 17 de março de 2005.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011.
- COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG N° 1, de 05 de maio de 2008.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Os elementos que caracterizam o clima. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1267esid=129>>. Acesso em: 22 de out. 2011.
- CRUZ, L. S. Variação temporal das comunidades fitoplanctônicas em uma lagoa de polimento de efluente de um reator anaeróbio compartimentado tratando esgoto sanitário. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- CURTIS, T. P.; MARA, D. D.; SILVA, S. A. Influence of pH, oxygen, and humic substances on ability of sunlight to damage faecal coliforms in waste stabilization pond water. *Applied and Environmental Microbiology*, Stockholm, v. 58, n. 4, p. 1335-1343, 1992.

- DA-RIN, B. P. E.; NASCIMENTO, G. P. L. Acumulação de lodo em lagoas de estabilização. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 1988. Vol. 2. [Anais...], p. 216 – 228.
- DESTRO, C. A. M., AMORIM, R. Avaliação do desempenho do sistema de lagoas de estabilização do bairro CPA III em Cuiabá/MT, a partir de variáveis físico-químicas e biológicas. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO-OESTE, 1, 2007. Vol. 1. [Anais...].
- FINNEY, B.; MIDDLEBROOKS, E. Facultative waste stabilization pond design. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, v. 51, n. 1, p. 134-147, 1980.
- FREDERICK, G.; LLOYD, B. An evaluation of retention time and short-circuiting in waste stabilisation ponds using *Serratia marcescens* bacteriophage as a tracer. *Water Science and Technology*, v. 33, n.7, p. 49-56. 1996.
- FREIRE, V. H.; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. Avaliação do desempenho de um sistema combinado UASB – lodos ativados no tratamento de efluentes sanitários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. [Anais...] Rio de Janeiro: ABES, 1999. CD-ROM.
- GADELHA, C. L. M. Efeito dos detergentes sintéticos biodegradáveis no processo de digestão anaeróbia de lodos de esgotos predominantemente domésticos. 1986. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 216 pp, 1986.
- GAZHY, M. M. D.; EL-SENOUSY, W. M.; ABDEL-AATTY, A. M.; KAMEL. M. Performance Evaluation of a Waste Stabilization Pond in a Rural Area in Egypt. *American Journal of Environmental Sciences*, v. 4, n. 4, p. 316-326, 2008.
- GLOYNA, E. F. (1973) - Estanques de estabilizacion de águas residuales. Organização Mundial da Saúde (Ed.), Genebra - Série de Monografias, no 60.
- GONÇALVES, R. F.(coordenador). *Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizadas* – PROSAB/FINEP. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 80p.
- GONÇALVES, R. F.(coordenador). *Desinfecção de Efluentes Sanitários* – PROSAB/FINEP. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 422p.
- GONÇALVES, R. F.; ARAÚJO, V. L.; CHERNICHARO, C. A. L. Tratamento secundário de esgoto sanitário através da associação em série de reatores UASB e biofiltros aerados submersos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997, Foz do Iguaçu. [Anais...] Foz do Iguaçu: ABES, 1997. 1 CD-ROM.
- GONÇALVES, R. F.; NASCIMENTO, C. G.; FERRARI, G. F.; MULLER, P. S. G. Estudo da formação de lodo em diversos tipos de lagoas de estabilização no Espírito Santo. In: EXPOSIÇÃO DE TRABALHOS TÉCNICOS – XXIV ASSEMBLÉIA DA ASSEMAE, 2., 1997, Brasil. [Anais... p. 181 - 192] Brasil: ASSEMAE, 1997.
- GONÇALVES, R. F.; NASCIMENTO, C. G.; FERRARI, G. F.; MULLER, P. S. G. Lodos de lagoas de estabilização em operação no espírito santo: formação e características. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997, Foz do Iguaçu. [Anais...] Foz do Iguaçu: ABES, 1997. 1 CD-ROM.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Mapa de Clima do Brasil*. Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Normais Climatológicas*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>>. Acesso em: 03 de Novembro de 2011.

JOHNSON, E. P. Aircraft de-icer: Recycling can cut carbon emissions in half. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 32, p. 156 – 164, 2012.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 6 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050 p.

JOSANTO, V.; SARMA, R. V. Coastal circulation off Bombay in relation to wastewater disposal. *Mahasagar – Bulletin of the National Institute of Oceanography*, v. 18, n. 2, p. 333 – 345, 1985.

KELLNER, E.; MOREIRA, J. F. V.; PIRES, E. C. Influência da estratificação térmica no volume útil e no comportamento hidrodinâmico de lagoa de estabilização: determinação experimental e teórica. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 129 – 138, 2009.

KELLNER, E.; PIRES, E. C. *Lagoas de estabilização: projeto e operação*. Rio de Janeiro: ABES., 1998. 244 p.

KÖNIG, A. *Echophysiological studies on some algae and bacteria of waste stabilization ponds*. 1984. 195 p. Tese de Doutorado – University of Liverpool, Liverpool, 1984.

KÖNIG, A.; CEBALLOS, B. S. O.; ALMEIDA, M. V. A. Observações sobre a população algal em efluentes de lagoas de estabilização em escala real no estado da Paraíba - Brasil. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28, 2002, Cancún, 2002. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, AIDIS. Gestión inteligente de los recursos naturales: desarrollo y salud. México: D.F, FEMISCA, 2002. p.1-6.

KÖNIG, A.; SOUZA, M. S. M.; COSTA, N. A. F.; FREITAS, V. L. B.; CEBALLOS, B. S. O. Variação nictemeral da qualidade do efluente final de uma lagoa facultativa secundária e a influência das algas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. [Anais...] Rio de Janeiro: ABES, 1999. CD-ROM.

LEVENSPIEL, O. *Engenharia das reações químicas*. 3 ed. São Paulo: Enhancing the Pathogen Removal Performance of Tertiary Lagoons, 2000. 688p.

LISEIKIN, V. D. *Grid generation methods*. 1 ed. Berlin: Springer, 1999.

LIU, Z.; QUN, M.; AN, W.; SUN, Z. An application of membrane bio-reactor process for the wastewater treatment of Qingdao International Airport. *Desalination*, 202, p. 144-149, 2007.

MACDONALD, R.; ERNST, A. Disinfection efficiency and problems associated with maturation ponds. *Water Science and Technology*, v. 18, n. 10, p. 19-29, 1986.

MANGELSON, K. *Hydraulics of Waste Stabilization Ponds and its Influence on Treatment Efficiency*. 1971. Tese - Department of Civil Engineering, Utah State University; Utah, USA, 1971.

MANGELSON, K.; WATTERS, G. Treatment efficiency of waste stabilization ponds. *Journal of the Sanitary Engineering Division*, 2, p. 407-425, 1972.

MARA, D. D.; ALABASTER, G. P.; PEARSON, H. W.; MILLS, S. W. *Waste stabilization ponds: a design manual for Eastern Africa*. Leeds: Lagoon Technology International, 1992. 121 p.

- MARA, D. D. *Design manual for waste stabilization ponds in India*. Leeds: Lagoon Technology International, 1997.
- MARA, D. D. *Domestic wastewater. treatment in developing countries*. Londres: Earthscan., 2004. 293 p.
- MARA, D. D. Pond Process Design – a practical guide. In: SHILTON, A. (Ed.) *Pond Treatment Technology*. London: IWA Publishing, 2005. p. 168-185.
- MARECOS DO MONTE, M. H. F.; MARA, D. D. The hydraulic performance of waste stabilization ponds in Portugal. *Water Science and Technology*. v. 19, n. 12, p. 219-277, 1987.
- MASCARENHAS, L. C. A. Avaliação do desempenho de lagoas de polimento rasas, em série, para o pós-tratamento de efluentes de reator UASB. 2002. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.
- MASCARENHAS, L. C. A.; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. Avaliação do desempenho de lagoas de polimento rasas, em série, para o pós-tratamento de efluentes de reator UASB. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9, n. 1, p. 45 – 54, 2004.
- MENDONÇA, N. M.; MACHADO, L. C. G. T.; OLIVEIRA, M. V. P.; SARMANHO, E. L. R.; COSTA, R. C. Caracterização qualitativa e quantitativa das águas residuárias geradas no Aeroporto Internacional de Val – de – cans (Belém-PA). In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13, 2008, Belém. [Anais...] Belém: ABES, 2008. 1 CD-ROM.
- MENESES, C. G. R. *Evolução da biodegradabilidade da matéria orgânica em um sistema de lagoas de estabilização*. 2006. 120 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.
- MENTER, F. R. Influence of freestream value on k- $\omega$  turbulence model predictions. *American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal*, v. 30, n. 6, p. 1657- 1659, 1992.
- METCALF e EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 920 p.
- METCALF e EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819 p.
- MOREIRA, E. A.; LEAL, N. L.; CAVALCANTI, P. F. F.; VAN HAANDEL, A. C. Desinfecção em lagoa de polimento de esgoto pré-tratado anaerobiamente, visando reuso como água de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22, 2003, Joinville. [Anais...] Joinville: ABES, 2003. 1 CD-ROM.
- MORENO, M. A tracer study of the hydraulics of facultative stabilization ponds. *Water Research*, v. 24, n. 8. p. 1025-1030, 1990.
- NELSON, K. L.; CISNEROS, B. J.; TCHOBANOGLIOUS, G.; DARBY, J. L. Sludge accumulation, characteristics, and pathogen inactivation in four primary waste stabilization ponds in central Mexico. *Water Research*, 38, p. 111-127, 2004.
- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989.

- NOGUEIRA, V. L. M. *Caracterização de um sistema de lagoas de estabilização numa estação de tratamento de esgotos domésticos em escala real, em Fortaleza, Ceará*. 1999. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.
- OLIVEIRA, L. F. F. Eficiências de remoção de carga orgânica por lagoas de estabilização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. [Anais...] Rio de Janeiro: ABES, 1999. CD-ROM.
- OLIVEIRA, M. S. R. *Avaliação da comunidade fitoplanctônica da lagoa facultativa do módulo III da estação de tratamento de esgoto de Mangabeira (João Pessoa – PB)*. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- OLIVEIRA, R.; SILVA, S. A.; ARAUJO, A. L. C.; SOARES, J.; MARA, D. D.; PEARSON, H. W. The performance of a pilot-scale series of ten ponds treating municipal sewage in northeast Brazil. *Water Science and Technology*, v. 33, n. 7, p. 57-61, 1996.
- OLIVEIRA, S. M. A. C. *Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos*. 2006. 214 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. 2005a. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1 – Análise de desempenho. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 347 – 357, 2005.
- OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. 2005b. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 2 – Influência de fatores de projeto e operação. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 358 – 368, 2005.
- OLUKANNI, D. O.; DUCOSTE, J. J. Optimization of waste stabilization pond design for developing nations using computational fluid dynamics. *Ecological Engineering*, v. 37, p. 1878 – 1888, 2011.
- PEARSON, H. W.; MARA, D. D.; CAWLEY, L. R.; ARRIDGE, H. M.; SILVA, S. A. The performance of an innovative tropical experimental waste stabilization pond system operating at high organic loadings. *Water Science and Technology*, v. 33, n.7, p. 63-73, 1996.
- PEDAHZUR, R.; NASSER, A.; DOR, I.; FATTAL, B.; SHUVAL, H. The effect of baffle installation on the performance of a single-cell stabilisation pond. *Water Science and Technology*, v. 27, n.(7-8), p. 45-52, 1993
- PERSSON, J. The hydraulic performance of ponds of various layouts. *Urban Water*, 2, p. 243-250, 2000.
- POLISEL, K. C. *Desempenho de lagoas de maturação utilizando macrófitas aquáticas e chicaneamento*. 2005. 153 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- RACAULT, Y.; BOUTIN, P.; DOUAT, J. Study by tracer experimentation of the behaviour of a waste stabilization pond: influence of the basin geometry. *Revue Francaise des Sciences de L'eau*, 3, p. 197-218, 1984.

- RIOS, E. N. *Caracterização e comportamento de uma série de lagoas de polimento tratando esgotos sanitários*. 2007. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- ROCHA, N. E. P. *Avaliação de um sistema de tratamento de esgotos constituído de reator UASB e lagoa facultativa em escala real*. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- SALTER, H. E. *Enhancing the Pathogen Removal Performance of Tertiary Lagoons*. Tese. Centre for Environmental Health Engineering, University of Surrey; Guildford, England, 1999.
- SANTOS, S. E. *Avaliação do desempenho de um sistema Reator UASB- Lagoa de Polimento: Estudo de caso da ETE Juramento-MG*. 2003. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
- SENRA, M. O. S. A. Sedimentação de lodo em lagoas de estabilização. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, SEECLA, 22, 1983, 19 p.
- SCHLICHTING, H.; GERSTEN, K. *Boundary-layer theory*, 8 ed. Berlim: Springer, 2003.
- SHILTON, A. *Studies into the hydraulics of waste stabilisation ponds*. 2001. 280 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Turitea Campus, Massey University, New Zealand, 2001.
- SHILTON, A.; GLYNN, D.; PHELPS, P. An inside look - the potential of CFD technology. *Water*, v. 21, p. 37-38, 1999.
- SHILTON, A.; HARRISON, J. (2003a). Development of guidelines for improved hydraulics design of waste stabilization ponds. *Water Science and Technology*, v. 48, n. 2, p. 173-180, 2003.
- SHILTON, A.; HARRISON, J. (2003b). *Guidelines for the Hydraulic Design of Waste Stabilization Ponds*. Institute of Technology and Engineering, Massey University. Palmerston North.
- SHILTON, A.; KERR, M. Field measurements of in-pond velocities by a drogue and survey technique. *Proceedings of the 4th IAWQ Specialist Group Conference on Waste Stabilisation Ponds*. Pearson, H. (Ed). Marrakech, Morrocos, 1999.
- SHILTON, A.; KREEGHER, S.; GRIGG, N. Comparison of computation fluid dynamics simulation against tracer data from a scale model and full-sized waste stabilization pond. *J. Environ. Eng.*, v. 134, p. 845-850, 2008.
- SHILTON, A. N.; MARA, D. D. CFD (computational fluid dynamics) modelling of baffles for optimizing tropical waste stabilization pond systems. *Water Science and Technology*, v. 51, n. 12, p. 103-106, 2005.
- SHILTON, A.; WILKS, T.; SMYTH, J.; BICKERS, P. Tracer studies of a New Zealand waste stabilisation pond, analysis of treatment efficiency. *Water Science and Technology*, v. 42, n.10-11, p. 343-348, 2000.
- SHORT, M. D.; CROMAR, N. J.; FALLOWFIELD, H. J. Hydrodynamic performance of pilot-scale duckweed, algal-based, rock filter and attached growth media reactors used for waste stabilisation pond research. *Ecological Engineering*, v. 36, n. 12, p. 1700-1708, 2010.

- SILVA, F. J. A. Número de dispersão em lagoas de maturação. *Revista Tecnologia*. v. 27, n. 1, p. 17-25, 2006.
- SILVA FILHO, P. A. *Disgnóstico operacional de lagoas de estabilização*. 2007. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.
- SILVA, S. A.; DE OLIVEIRA, R.; MARA, D. D. *Performance of waste stabilization ponds in Northeast Brazil*. Leeds: University of Leeds, 1996. 139 p. (Research Monograph No 9).
- SILVA, S. R.; AGUIAR, M. M.; MENDONÇA, A. S. F. Correlação entre DBO e DQO em esgotos domésticos para a região da grande Vitória - ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19, 1997, Foz do Iguaçu. [Anais...] Foz do Iguaçu: ABES, 1997. 1 CD-ROM.
- SIMGE - SISTEMA DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS. *Mapas climáticos*. Disponível em: <[http://www.simge.mg.gov.br/monitoramento/mapas\\_climaticos.html](http://www.simge.mg.gov.br/monitoramento/mapas_climaticos.html)>. Acesso em 03 de Novembro de 2011.
- SWITZENBAUM, M. S.; VELTMAN, S.; MERICAS, D.; WAGONER, B.; SCHOENBERG, T. Best management practices for airport deicing stormwater. *Chemosphere*, v. 43, n. 8, p 1051–1062, 2001.
- TAKAHASHI, A.; SEMURA, K. A.; GONÇALVES, M. C.; KAKINAMI, S. H. Resultados do programa de avaliação de desempenho da ETE Suzano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. [Anais...] João Pessoa- PB: ABES, 2001.
- TAKEUTI, M. R. S. A. *Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização com chicanas*. 2003. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2003.
- UEHARA, M. Y.; VIDAL, W.L. *Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativa*. São Paulo: CETESB, 1989. 89 p.
- ULUATAM, S.; KURUM, Z. Evaluation of the wastewater stabilisation pond at the METU treatment plant. *International Journal of Environmental Studies*, v. 41 n. 1-2, p. 71-80, 1992
- VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. *Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente*. Camina Grande: Epgraf, 1994. 240 p.
- VEGA, G. P.; PEÑA, M. R.; RAMÍREZ, C. MARA, D. D. Application of CFD modelling to study the hydrodynamics of various anaerobic pond configurations. *Water Science and Technology*, v. 48, n. 2, p. 163-171, 2003.
- VIEIRA, M. R.; OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L.; ALÉM SOBRINHO, P. Avaliação de desempenho de 115 lagoas facultativas primárias e secundárias no sudeste do Brasil, tratando esgotos municipais. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11, 2004, Natal. [Anais...] Belém: Natal, 2004.
- VON SPERLING, M. Performance evaluation and mathematical modelling of coliform die-off in tropical and subtropical waste stabilization ponds. *Water Research*, v. 33, n.6, p. 1435-1448, 1999.

- VON SPERLING, M. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. Vol. 3: Lagoas de estabilização. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2002. 196 p.
- VON SPERLING, M. (2005a). *Princípio do Tratamento Biológicos de Águas Residuárias*. Vol. 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005. 452 p.
- VON SPERLING, M. (2005b). Modelling of coliform removal in 186 facultative and maturation ponds around the world. *Water Research*, 39, p. 5261-5273, 2005.
- VON SPERLING, M.; JORDÃO, E. P.; KATO, M. T.; ALEM SOBRINHO, P.; BASTOS, R. K. X.; PIVELLI, R. *Desinfecção de efluentes sanitários*. In: GONÇALVES, R. F.(coordenador). *Desinfecção de Efluentes Sanitários – PROSAB/FINEP*. Rio de Janeiro: ABES, 2003. 422p.
- WATSON, D. *Contouring: A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data*. Londres: Pergamon Press, 1992.
- WOOD, M. *Development of Computational Fluid Dynamic Models for the Design of Waste Stabilisation Ponds*. 1997. Tese. Department of Chemical Engineering, University of Queensland; Brisbane, Australia, 1997.
- WOOD, M. G.; HOWES, T.; KELLER, J.; JOHNS, M. R. Nota técnica: Two dimensional computational fluid dynamic models for waste stabilisation ponds. *Water Research*, v. 32, n. 3, p. 958-963, 1998.
- YANEZ, F. *Lagunas de estabilizacion*. Lima: CEPIS, 1993.

## **APÊNDICE**

### **Valores de resposta da Curva de Traçador**

## Lagoa Facultativa

Tempo - t (h)	Concentração Relativa - C	t X C	t² X C
0	0	0	0
6	-5,84E-14	-3,5E-13	-2,1E-12
12	-3,43E-14	-4,1E-13	-4,9E-12
18	-2,07E-14	-3,7E-13	-6,7E-12
24	-1,51E-14	-3,6E-13	-8,7E-12
30	-1,31E-14	-3,9E-13	-1,2E-11
36	-1,29E-14	-4,6E-13	-1,7E-11
42	-1,36E-14	-5,7E-13	-2,4E-11
48	-1,48E-14	-7,1E-13	-3,4E-11
54	-1,66E-14	-9E-13	-4,8E-11
60	-1,87E-14	-1,1E-12	-6,7E-11
66	-2,15E-14	-1,4E-12	-9,4E-11
72	-2,49E-14	-1,8E-12	-1,3E-10
78	-2,92E-14	-2,3E-12	-1,8E-10
84	-3,43E-14	-2,9E-12	-2,4E-10
90	-4,06E-14	-3,7E-12	-3,3E-10
96	-4,80E-14	-4,6E-12	-4,4E-10
102	-5,67E-14	-5,8E-12	-5,9E-10
108	-6,70E-14	-7,2E-12	-7,8E-10
114	-7,88E-14	-9E-12	-1E-09
120	-9,22E-14	-1,1E-11	-1,3E-09
126	-1,07E-13	-1,3E-11	-1,7E-09
132	-1,21E-13	-1,6E-11	-2,1E-09
138	-1,33E-13	-1,8E-11	-2,5E-09
144	-1,31E-13	-1,9E-11	-2,7E-09
150	-9,41E-14	-1,4E-11	-2,1E-09
156	3,71E-14	5,79E-12	9,03E-10
162	4,01E-13	6,5E-11	1,05E-08
168	1,33E-12	2,23E-10	3,75E-08
174	3,59E-12	6,25E-10	1,09E-07
180	8,94E-12	1,61E-09	2,9E-07
186	2,12E-11	3,94E-09	7,33E-07
192	4,90E-11	9,41E-09	1,81E-06
198	1,10E-10	2,18E-08	4,31E-06
204	2,43E-10	4,96E-08	1,01E-05
210	5,24E-10	1,1E-07	2,31E-05
216	1,11E-09	2,4E-07	5,18E-05
222	2,31E-09	5,13E-07	0,000114
228	4,71E-09	1,07E-06	0,000245
234	9,45E-09	2,21E-06	0,000517
240	1,86E-08	4,46E-06	0,001071
246	3,58E-08	8,81E-06	0,002166
252	6,79E-08	1,71E-05	0,004312

258	1,26E-07	3,25E-05	0,008387
264	2,31E-07	6,1E-05	0,0161
270	4,15E-07	0,000112	0,030254
276	7,36E-07	0,000203	0,056066
282	1,29E-06	0,000364	0,102586
288	2,23E-06	0,000642	0,184965
294	3,81E-06	0,00112	0,329321
300	6,44E-06	0,001932	0,5796
306	1,07E-05	0,003274	1,001905
312	1,76E-05	0,005491	1,713254
318	2,85E-05	0,009063	2,882034
324	4,54E-05	0,01471	4,76591
330	7,12E-05	0,023496	7,75368
336	0,000110249	0,037044	12,44667
342	0,000168244	0,057539	19,67849
348	0,000253278	0,088141	30,67298
354	0,000378684	0,134054	47,45516
360	0,000570896	0,205523	73,98812
366	0,000904613	0,331088	121,1783
372	0,00162482	0,604433	224,8491
378	0,003392378	1,282319	484,7165
384	0,007193382	2,762259	1060,707
390	0,014037977	5,474811	2135,176
396	0,025178166	9,970554	3948,339
402	0,041918267	16,85114	6774,16
408	0,065213028	26,60692	10855,62
414	0,095247909	39,43263	16325,11
420	0,131153402	55,08443	23135,46
426	0,171173212	72,91979	31063,83
432	0,211677299	91,44459	39504,06
438	0,249079668	109,0969	47784,44
444	0,28184925	125,1411	55562,63
450	0,310060377	139,5272	62787,23
456	0,335207137	152,8545	69701,63
462	0,359179441	165,9409	76664,7
468	0,383608891	179,529	84019,55
474	0,410530345	194,5914	92236,32
480	0,442116178	212,2158	101863,6
486	0,480090909	233,3242	113395,6
492	0,525742352	258,6652	127263,3
498	0,579758084	288,7195	143782,3
504	0,641939266	323,5374	163062,8
510	0,711295415	362,7607	185007,9
516	0,784059719	404,5748	208760,6
522	0,855032604	446,327	232982,7
528	0,918207987	484,8138	255981,7

534	0,964879646	515,2457	275141,2
540	0,993360229	536,4145	289663,8
546	1	546	298116
552	0,983843782	543,0818	299781,1
558	0,948513438	529,2705	295332,9
564	0,898416899	506,7071	285782,8
570	0,836518181	476,8154	271784,8
576	0,76747423	442,0652	254629,5
582	0,695990307	405,0664	235748,6
588	0,627093163	368,7308	216813,7
594	0,571038856	339,1971	201483,1
600	0,521609452	312,9657	187779,4
606	0,474441622	287,5116	174232
612	0,432480799	264,6782	161983,1
618	0,394755083	243,9586	150766,4
624	0,361303499	225,4534	140682,9
630	0,329234503	207,4177	130673,2
636	0,299694678	190,6058	121225,3
642	0,275209479	176,6845	113431,4
648	0,255139643	165,3305	107134,2
654	0,240057534	156,9976	102676,4
660	0,228063948	150,5222	99344,66
666	0,218422994	145,4697	96882,83
672	0,210220378	141,2681	94932,16
678	0,203225669	137,787	93419,59
684	0,19716941	134,8639	92246,89
690	0,192003286	132,4823	91412,76
696	0,187651104	130,6052	90901,2
702	0,184367271	129,4258	90856,93
708	0,182925402	129,5112	91693,92
714	0,182981337	130,6487	93283,15
720	0,184278071	132,6802	95529,75
726	0,186428331	135,347	98261,9
732	0,1892474	138,5291	101403,3
738	0,192774488	142,2676	104993,5
744	0,196911104	146,5019	108997,4
750	0,201101611	150,8262	113119,7
756	0,204864705	154,8777	117087,6
762	0,208126053	158,5921	120847,1
768	0,210997155	162,0458	124451,2
774	0,213150946	164,9788	127693,6
780	0,214873606	167,6014	130729,1
786	0,217308003	170,8041	134252
792	0,219435777	173,7931	137644,2
798	0,221225338	176,5378	140877,2
804	0,222996315	179,289	144148,4

810	0,224486686	181,8342	147285,7
816	0,22523373	183,7907	149973,2
822	0,225584952	185,4308	152424,1
828	0,225319213	186,5643	154475,2
834	0,22359841	186,4811	155525,2
840	0,220167955	184,9411	155350,5
846	0,214864315	181,7752	153781,8
852	0,207505375	176,7946	150629
858	0,19840705	170,2332	146060,1
864	0,188307091	162,6973	140570,5
870	0,177439461	154,3723	134303,9
876	0,167272974	146,5311	128361,3
882	0,158752028	140,0193	123497
888	0,152415721	135,3452	120186,5
894	0,148553764	132,8071	118729,5
900	0,147284533	132,5561	119300,5
906	0,148453972	134,4993	121856,4
912	0,151876808	138,5116	126322,6
918	0,157438011	144,5281	132676,8
924	0,165002295	152,4621	140875
930	0,174451471	162,2399	150883,1
936	0,185348463	173,4862	162383
942	0,197262326	185,8211	175043,5
948	0,209811548	198,9013	188558,5
954	0,22220653	211,985	202233,7
960	0,233467938	224,1292	215164,1
966	0,24288961	234,6314	226653,9
972	0,250631364	243,6137	236792,5
978	0,256774963	251,1259	245601,1
984	0,261454208	257,2709	253154,6
990	0,264741573	262,0942	259473,2
996	0,266703957	265,6371	264574,6
1002	0,267475159	268,0101	268546,1
1008	0,267118362	269,2553	271409,4
1014	0,265707898	269,4278	273199,8
1020	0,263392434	268,6603	274033,5
1026	0,260328067	267,0966	274041,1
1032	0,256680189	264,894	273370,6
1038	0,252591889	262,1904	272153,6
1044	0,248150509	259,0691	270468,2
1050	0,24354188	255,719	268504,9
1056	0,238860777	252,237	266362,3
1062	0,234105341	248,6199	264034,3
1068	0,229522728	245,1303	261799,1
1074	0,225226297	241,893	259793,1
1080	0,221009773	238,6906	257785,8

1086	0,217032972	235,6978	255967,8
1092	0,213502168	233,1444	254593,6
1098	0,210333735	230,9464	253579,2
1104	0,207395734	228,9649	252777,2
1110	0,204639849	227,1502	252136,8
1116	0,201934137	225,3585	251500,1
1122	0,199360367	223,6823	250971,6
1128	0,196810754	222,0025	250418,9
1134	0,194220259	220,2458	249758,7
1140	0,191596314	218,4198	248998,6
1146	0,188944494	216,5304	248143,8
1152	0,186287099	214,6027	247222,4
1158	0,183645128	212,6611	246261,5
1164	0,181040324	210,7309	245290,8
1170	0,178494799	208,8389	244341,5
1176	0,1760329	207,0147	243449,3
1182	0,173664659	205,2716	242631,1
1188	0,171419997	203,647	241932,6
1194	0,169325672	202,1749	241396,8
1200	0,167409374	200,8912	241069,5
1206	0,165686528	199,818	240980,5
1212	0,164129815	198,9253	241097,5
1218	0,162745182	198,2236	241436,4
1224	0,161556416	197,7451	242039,9
1230	0,160548464	197,4746	242893,8
1236	0,159684904	197,3705	243950
1242	0,158980973	197,4544	245238,3
1248	0,158421433	197,7099	246742
1254	0,158016691	198,1529	248483,8
1260	0,157766562	198,7859	250470,2
1266	0,157660452	199,5981	252691,2
1272	0,157689442	200,581	255139
1278	0,157835505	201,7138	257790,2
1284	0,158075972	202,9695	260612,9
1290	0,158395045	204,3296	263585,2
1296	0,158782876	205,7826	266694,3
1302	0,159224598	207,3104	269918,2
1308	0,159706274	208,8958	273235,7
1314	0,160209693	210,5155	276617,4
1320	0,160719801	212,1501	280038,2
1326	0,161241431	213,8061	283506,9
1332	0,161775883	215,4855	287026,7
1338	0,162329848	217,1973	290610
1344	0,162881211	218,9123	294218,2
1350	0,163425512	220,6244	297843
1356	0,163967212	222,3395	301492,4

1362	0,164500363	224,0495	305155,4
1368	0,165020321	225,7478	308823
1374	0,165540278	227,4523	312519,5
1380	0,166077332	229,1867	316277,7
1386	0,166621076	230,9368	320078,4
1392	0,16716036	232,6872	323900,6
1398	0,167709307	234,4576	327771,7
1404	0,168273307	236,2557	331703
1410	0,168842509	238,0679	335675,8
1416	0,169371758	239,8304	339599,9
1422	0,169910113	241,6122	343572,5
1428	0,170487121	243,4556	347654,6
1434	0,170923082	245,1037	351478,7
1440	0,171270588	246,6296	355146,7
1446	0,171522204	248,0211	358638,5
1452	0,171692054	249,2969	361979
1458	0,171812288	250,5023	365232,4
1464	0,171862834	251,6072	368352,9
1470	0,171835702	252,5985	371319,8
1476	0,171730707	253,4745	374128,4
1482	0,171538557	254,2201	376754,2
1488	0,17126204	254,8379	379198,8
1494	0,170908587	255,3374	381474,1
1500	0,170483404	255,7251	383587,7
1506	0,169978499	255,9876	385517,4
1512	0,169392386	256,1213	387255,4
1518	0,16872079	256,1182	388787,4
1524	0,168008125	256,0444	390211,6
1530	0,167294159	255,9601	391618,9
1536	0,166584653	255,874	393022,5
1542	0,165859537	255,7554	394374,8
1548	0,165099671	255,5743	395629
1554	0,164297435	255,3182	396764,5
1560	0,163442423	254,9702	397753,5
1566	0,162534449	254,5289	398592,3
1572	0,16158522	254,012	399306,8
1578	0,160596037	253,4205	399897,6
1584	0,159565785	252,7522	400359,5
1590	0,158481828	251,9861	400657,9
1596	0,157339706	251,1142	400778,2
1602	0,156149082	250,1508	400741,6
1608	0,15492668	249,1221	400588,3
1614	0,153682164	248,043	400341,4
1620	0,152411818	246,9071	399989,6
1626	0,151112668	245,7092	399523,2
1632	0,149788245	244,4544	398949,6

1638	0,14843446	243,1356	398256,2
1644	0,147042394	241,7377	397416,8
1650	0,145631745	240,2924	396482,4
1656	0,144209202	238,8104	395470,1
1662	0,142758971	237,2654	394335,1
1668	0,141244999	235,5967	392975,2
1674	0,139636439	233,7514	391299,8
1680	0,137869736	231,6212	389123,5
1686	0,136031673	229,3494	386683,1
1692	0,134215167	227,0921	384239,8
1698	0,132440845	224,8846	381854
1704	0,130678602	222,6763	379440,5
1710	0,128913386	220,4419	376955,6
1716	0,127132374	218,1592	374361,1
1722	0,12533538	215,8275	371655
1728	0,123524821	213,4509	368843,1
1734	0,121712589	211,0496	365960,1
1740	0,119898499	208,6234	363004,7
1746	0,118083479	206,1738	359979,4
1752	0,116302096	203,7613	356989,7
1758	0,114557878	201,3927	354048,5
1764	0,112840235	199,0502	351124,5
1770	0,111145449	196,7274	348207,6
1776	0,109481325	194,4388	345323,4
1782	0,10787611	192,2352	342563,2
1788	0,106323857	190,1071	339911,4
1794	0,104826424	188,0586	337377,1
1800	0,103389201	186,1006	334981
1806	0,102015532	184,2401	332737,5
1812	0,100712107	182,4903	330672,5
1818	0,099480228	180,8551	328794,5
1824	0,09832008	179,3358	327108,5
1830	0,097237053	177,9438	325637,2
1836	0,096237463	176,692	324406,5
1842	0,095334878	175,6068	323467,8
1848	0,0945332	174,6974	322840,7
1854	0,093833171	173,9667	322534,3
1860	0,093232935	173,4133	322548,7
1866	0,092718924	173,0135	322843,2
1872	0,092280547	172,7492	323386,5
1878	0,091942519	172,6681	324270,6
1884	0,091711158	172,7838	325524,7
1890	0,091590181	173,1054	327169,3
1896	0,091594827	173,6638	329266,5
1902	0,091717848	174,4473	331798,9
1908	0,091947536	175,4359	334731,7

1914	0,092275529	176,6154	338041,8
1920	0,092704429	177,9925	341745,6
1926	0,0932006	179,5044	345725,4
1932	0,093773334	181,1701	350020,6
1938	0,094417055	182,9803	354615,7
1944	0,095149604	184,9708	359583,3
1950	0,095972467	187,1463	364935,3
1956	0,096854797	189,448	370560,3
1962	0,097780239	191,8448	376399,6
1968	0,098769422	194,3782	382536,3
1974	0,099990894	197,382	389632,1
1980	0,101295434	200,565	397118,6
1986	0,102676907	203,9163	404977,8
1992	0,104064328	207,2961	412933,9
1998	0,105425917	210,641	420860,7
2004	0,106761862	213,9508	428757,3
2010	0,10802812	217,1365	436444,4
2016	0,10907138	219,8879	443294
2022	0,110022281	222,4651	449824,3
2028	0,110942149	224,9907	456281,1
2034	0,111803479	227,4083	462548,4
2040	0,112618352	229,7414	468672,5
2046	0,113409623	232,0361	474745,8
2052	0,114173206	234,2834	480749,6
2058	0,114891818	236,4474	486608,7
2064	0,115575679	238,5482	492363,5
2070	0,116235754	240,608	498058,6
2076	0,116874272	242,631	503701,9
2082	0,117526356	244,6899	509444,3
2088	0,118154095	246,7058	515121,6
2094	0,118741324	248,6443	520661,2
2100	0,119285068	250,4986	526047,1
2106	0,119823608	252,3485	531446
2112	0,120351371	254,1821	536832,6
2118	0,120849958	255,9602	542123,7
2124	0,121327359	257,6993	547353,3
2130	0,121771869	259,3741	552466,8
2136	0,12217977	260,976	557444,7
2142	0,122554035	262,5107	562298
2148	0,122895222	263,9789	567026,8
2154	0,123196642	265,3656	571597,4
2160	0,123464054	266,6824	576033,9
2166	0,123705449	267,946	580371
2172	0,123923244	269,1613	584618,3
2178	0,124121155	270,3359	588791,5
2184	0,124300297	271,4718	592894,5

2190	0,124466059	272,5807	596951,7
2196	0,124617326	273,6596	600956,6
2202	0,124758186	274,7175	604928
2208	0,124887154	275,7508	608857,8
2214	0,125004228	276,7594	612745,2
2220	0,125108293	277,7404	616583,7
2226	0,125201209	278,6979	620381,5
2232	0,125284648	279,6353	624146,1
2238	0,125370502	280,5792	627936,2
2244	0,125461746	281,5362	631767,1
2250	0,125558192	282,5059	635638,3
2256	0,125662072	283,4936	639561,6
2262	0,125772456	284,4973	643532,9
2268	0,12588377	285,5044	647524
2274	0,12598319	286,4858	651468,7
2280	0,126076477	287,4544	655396
2286	0,126163447	288,4096	659304,4
2292	0,126240938	289,3442	663177
2298	0,126307466	290,2546	667005
2304	0,126366561	291,1486	670806,3
2310	0,126420452	292,0312	674592,2
2316	0,126470255	292,9051	678368,2
2322	0,12651727	293,7731	682141,1
2328	0,126558525	294,6282	685894,6
2334	0,126592718	295,4674	689620,9
2340	0,126618549	296,2874	693312,5
2346	0,126637132	297,0907	696974,8
2352	0,126646238	297,872	700594,8
2358	0,12664568	298,6305	704170,8
2364	0,126637318	299,3706	707712,1
2370	0,126623938	300,0987	711234
2376	0,126606098	300,8161	714739
2382	0,126582497	301,5195	718219,5
2388	0,126552021	302,2062	721668,5
2394	0,126513554	302,8734	725079
2400	0,126465981	303,5184	728444,1
2406	0,126409674	304,1417	731764,9
2412	0,126342217	304,7374	735026,7
2418	0,126263238	305,3045	738226,3
2424	0,126175897	305,8504	741381,3
2430	0,12609283	306,4056	744565,6
2436	0,126016454	306,9761	747793,7
2442	0,125944165	307,5557	751050,9
2448	0,125873363	308,138	754321,8
2454	0,125808879	308,735	757635,7
2460	0,125755732	309,3591	761023,4

2466	0,125710389	310,0018	764464,5
2472	0,125668948	310,6536	767935,8
2478	0,125630853	311,3133	771434,2
2484	0,125596659	311,9821	774963,5
2490	0,125570829	312,6714	778551,7
2496	0,125551502	313,3765	782187,9
2502	0,125536636	314,0927	785859,8
2508	0,1255253	314,8175	789562,2
2514	0,125517867	315,5519	793297,5
2520	0,125515451	316,2989	797073,3
2526	0,125518982	317,0609	800896
2532	0,125535892	317,8569	804813,6
2538	0,12557566	318,711	808888,6
2544	0,125637542	319,6219	813118,1
2550	0,12571299	320,5681	817448,7
2556	0,125804605	321,5566	821898,6
2562	0,125914989	322,5942	826486,3
2568	0,12604024	323,6713	831188
2574	0,126187233	324,8059	836050,5
2580	0,126354667	325,995	841067,2
2586	0,12654403	327,2429	846250
2592	0,126755692	328,5508	851603,6
2598	0,126989841	329,9196	857131,1
2604	0,127239784	331,3324	862789,6
2610	0,127507568	332,7948	868594,3
2616	0,127787617	334,2924	874508,9
2622	0,128080859	335,828	880541
2628	0,128382278	337,3886	886657,3
2634	0,128689458	338,968	892841,8
2640	0,129002771	340,5673	899097,7
2646	0,129328534	342,2033	905469,9
2652	0,129687933	343,9324	912108,7
2658	0,130024474	345,6051	918618,2
2664	0,130339273	347,2238	925004,3
2670	0,130630843	348,7844	931254,2
2676	0,130900485	350,2897	937375,2
2682	0,131100812	351,6124	943024,4
2688	0,131260999	352,8296	948405,9
2694	0,131389223	353,9626	953575,2
2700	0,131488829	355,0198	958553,6
2706	0,131573196	356,0371	963436,3
2712	0,131644556	357,02	968238,3
2718	0,131683766	357,9165	972817
2724	0,131687483	358,7167	977144,3
2730	0,131644927	359,3907	981136,5
2736	0,131572081	359,9812	984908,6

2742	0,131464485	360,4756	988424,1
2748	0,131297794	360,8063	991495,8
2754	0,131056026	360,9283	993996,5
2760	0,130789915	360,9802	996305,3
2766	0,130531052	361,0489	998661,2
2772	0,130285196	361,1506	1001109
2778	0,129999758	361,1393	1003245
2784	0,129672323	361,0077	1005046
2790	0,129304562	360,7597	1006520
2796	0,128895917	360,393	1007659
2802	0,128449178	359,9146	1008481
2808	0,127963413	359,3213	1008974
2814	0,127484339	358,7409	1009497
2820	0,127030538	358,2261	1010198
2826	0,126547003	357,6218	1010639
2832	0,126000472	356,8333	1010552
2838	0,125412872	355,9217	1010106
2844	0,124805202	354,946	1009466
2850	0,124155162	353,8422	1008450
2856	0,123460337	352,6027	1007033
2862	0,122760866	351,3416	1005540
2868	0,122074218	350,1089	1004112
2874	0,121382923	348,8545	1002608
2880	0,120676391	347,548	1000938
2886	0,119956292	346,1939	999115,5
2892	0,119222443	344,7913	997136,5
2898	0,118476328	343,3444	995012,1
2904	0,117725196	341,874	992802
2910	0,116968303	340,3778	990499,3
2916	0,116216241	338,8866	988193,2
2922	0,115473286	337,4129	985920,6
2928	0,114762293	336,024	983878,3
2934	0,114071556	334,6859	981968,6
2940	0,113384908	333,3516	980053,8
2946	0,112710524	332,0452	978205,2
2952	0,112051565	330,7762	976451,4
2958	0,111404684	329,5351	974764,7
2964	0,110766166	328,3109	973113,6
2970	0,110125604	327,073	971406,9
2976	0,109488015	325,8363	969688,9
2982	0,108862877	324,6291	968044
2988	0,108257994	323,4749	966543
2994	0,107681915	322,3997	965264,6
3000	0,107135942	321,4078	964223,5
3006	0,106617842	320,4932	963402,7
3012	0,106123344	319,6435	962766,3

3018	0,105649287	318,8495	962287,9
3024	0,105191212	318,0982	961929
3030	0,104745029	317,3774	961653,6
3036	0,104309254	316,6829	961449,3
3042	0,103882212	316,0097	961301,5
3048	0,103462047	315,3523	961193,9
3054	0,103053402	314,7251	961170,4
3060	0,102654607	314,1231	961216,7
3066	0,102264361	313,5425	961321,4
3072	0,101887122	312,9972	961527,5
3078	0,101522706	312,4869	961834,6
3084	0,101170369	312,0094	962237
3090	0,100832527	311,5725	962759,1
3096	0,100529063	311,238	963592,8
3102	0,100238236	310,939	964532,8
3108	0,0999541	310,6573	965523
3114	0,099679068	310,4006	966587,5
3120	0,099420576	310,1922	967799,7
3126	0,099175464	310,0225	969130,3
3132	0,098936856	309,8702	970513,6
3138	0,098702151	309,7273	971924,4
3144	0,098469303	309,5875	973343,1
3150	0,098239058	309,453	974777,1
3156	0,098008998	309,3164	976202,6
3162	0,097779867	309,1799	977627
3168	0,097549993	309,0384	979033,6
3174	0,097320491	308,8952	980433,5
3180	0,097089688	308,7452	981809,8
3186	0,096854982	308,58	983135,8
3192	0,096615817	308,3977	984405,4
3198	0,096371076	308,1947	985606,7
3204	0,096109425	307,9346	986622,5
3210	0,095843314	307,657	987579,1
3216	0,095578875	307,3817	988539,4
3222	0,095316481	307,1097	989507,5
3228	0,095055759	306,84	990479,5
3234	0,094796709	306,5726	991455,6
3240	0,094536916	306,2996	992410,7
3246	0,094275079	306,0169	993330,9
3252	0,094011198	305,7244	994215,8
3258	0,093743972	305,4179	995051,4
3264	0,093473029	305,096	995833,2
3270	0,093197998	304,7575	996556,9
3276	0,092918507	304,401	997217,8
3282	0,092635114	304,0284	997821,4
3288	0,092348933	303,6433	998379,1

3294	0,092059778	303,2449	998888,7
3300	0,091763934	302,821	999309,2
3306	0,091469762	302,399	999731,2
3312	0,091176706	301,9773	1000149
3318	0,090885507	301,5581	1000570
3324	0,090597468	301,146	1001009
3330	0,090312959	300,7422	1001471
3336	0,090034212	300,3541	1001981
3342	0,089757508	299,9696	1002498
3348	0,089481176	299,583	1003004
3354	0,089204844	299,193	1003493
3360	0,088928327	298,7992	1003965
3366	0,088650136	298,3964	1004402
3372	0,088371946	297,9902	1004823
3378	0,088095428	297,5864	1005247
3384	0,08781984	297,1823	1005665
3390	0,087546667	296,7832	1006095
3396	0,087276468	296,3909	1006543
3402	0,087007755	296,0004	1006993
3408	0,086739971	295,6098	1007438
3414	0,086473302	295,2199	1007881
3420	0,086208492	294,833	1008329
3426	0,085945354	294,4488	1008782
3432	0,085685004	294,0709	1009251
3438	0,085427999	293,7015	1009746
3444	0,085172666	293,3347	1010245
3450	0,084918819	292,9699	1010746
3456	0,084665902	292,6054	1011244
3462	0,084417259	292,2526	1011778
3468	0,084170475	291,9032	1012320
3474	0,083924062	291,5522	1012852
3480	0,083678764	291,2021	1013383
3486	0,083436997	290,8614	1013943
3492	0,08319876	290,5301	1014531
3498	0,082965913	290,2148	1015171
3504	0,082738826	289,9168	1015869
3510	0,082516757	289,6338	1016615
3516	0,082301192	289,371	1017428
3522	0,082094362	289,1363	1018338
3528	0,081896079	288,9294	1019343
3534	0,081703186	288,7391	1020404
3540	0,081517726	288,5728	1021548
3546	0,081340628	288,4339	1022786
3552	0,081170592	288,3179	1024105
3558	0,081007431	288,2244	1025503
3564	0,080847988	288,1422	1026939

3570	0,080692075	288,0707	1028412
3576	0,080541923	288,0179	1029952
3582	0,080398646	287,9879	1031573
3588	0,080260573	287,9749	1033254
3594	0,080113209	287,9269	1034809
3600	0,079959897	287,8556	1036280
3606	0,0798064	287,7819	1037741
3612	0,079653647	287,709	1039205
3618	0,079501822	287,6376	1040673
3624	0,079351298	287,5691	1042150
3630	0,079201146	287,5002	1043626
3636	0,079050251	287,4267	1045084
3642	0,078898426	287,3481	1046522
3648	0,078745115	287,2622	1047932
3654	0,078590317	287,169	1049316
3660	0,078435147	287,0726	1050686
3666	0,078285367	286,9942	1052121
3672	0,07813633	286,9166	1053558
3678	0,077985063	286,8291	1054957
3684	0,077831194	286,7301	1056314
3690	0,077674166	286,6177	1057619
3696	0,077512864	286,4875	1058858
3702	0,077346916	286,3383	1060024
3708	0,077177809	286,1753	1061138
3714	0,077005729	285,9993	1062201
3720	0,076827145	285,797	1063165
3726	0,076641127	285,5648	1064015
3732	0,076446933	285,3	1064739
3738	0,076243633	284,9987	1065325
3744	0,076030298	284,6574	1065757
3750	0,075807486	284,2781	1066043
3756	0,075575939	283,8632	1066190
3762	0,075336588	283,4162	1066212
3768	0,075091662	282,9454	1066138
3774	0,074841718	282,4526	1065976
3780	0,074586385	281,9365	1065720
3786	0,074324734	281,3934	1065356
3792	0,074056207	280,8211	1064874
3798	0,073779875	280,216	1064260
3804	0,073497596	279,5849	1063541
3810	0,073208256	278,9235	1062698
3816	0,072914084	278,2401	1061764
3822	0,072616196	277,5391	1060754
3828	0,072314219	276,8188	1059662
3834	0,072008898	276,0821	1058499
3840	0,071702275	275,3367	1057293

3846	0,071395467	274,587	1056061
3852	0,071087358	273,8285	1054787
3858	0,070779249	273,0663	1053490
3864	0,070472254	272,3048	1052186
3870	0,070167304	271,5475	1050889
3876	0,069866257	270,8016	1049627
3882	0,069569855	270,0702	1048412
3888	0,069278471	269,3547	1047251
3894	0,068990617	268,6495	1046121
3900	0,068707967	267,9611	1045048
3906	0,068430706	267,2903	1044036
3912	0,068159763	266,641	1043100
3918	0,06789551	266,0146	1042245
3924	0,067639992	265,4193	1041505
3930	0,067394136	264,859	1040896
3936	0,067157015	264,33	1040403
3942	0,066927884	263,8297	1040017
3948	0,066703957	263,3472	1039695
3954	0,06648449	262,8797	1039426
3960	0,066273199	262,4419	1039270
3966	0,066071385	262,0391	1039247
3972	0,065879793	261,6745	1039371
3978	0,06569935	261,352	1039658
3984	0,065529872	261,071	1040107
3990	0,065370428	260,828	1040704
3996	0,065219904	260,6187	1041432
4002	0,065078672	260,4448	1042300
4008	0,064947475	260,3095	1043320
4014	0,064826312	260,2128	1044494
4020	0,064717601	260,1648	1045862
4026	0,064618924	260,1558	1047387
4032	0,064527681	260,1756	1049028
4038	0,064441826	260,2161	1050753
4044	0,064358388	260,2653	1052513
4050	0,064278294	260,3271	1054325
4056	0,064200617	260,3977	1056173
4062	0,06412424	260,4727	1058040
4068	0,064051208	260,5603	1059959
4074	0,063978919	260,6501	1061889
4080	0,063908489	260,7466	1063846
4086	0,063841404	260,856	1065858
4092	0,063774504	260,9653	1067870
4098	0,063709277	261,0806	1069908
4104	0,063645723	261,202	1071973
4110	0,063584027	261,3304	1074068
4116	0,063523074	261,461	1076173

4122	0,063461935	261,5901	1078274
4128	0,063399124	261,7116	1080345
4134	0,063335012	261,8269	1082393
4140	0,063269971	261,9377	1084422
4146	0,063203815	262,043	1086430
4152	0,063137101	262,1452	1088427
4158	0,063069458	262,2428	1090406
4164	0,062999957	262,3318	1092350
4170	0,06292897	262,4138	1094266
4176	0,06285538	262,4841	1096133
4182	0,062779561	262,5441	1097960
4188	0,062700954	262,5916	1099734
4194	0,062620489	262,6303	1101472
4200	0,062538351	262,6611	1103177
4206	0,062453612	262,6799	1104832
4212	0,062364227	262,6781	1106400
4218	0,062269638	262,6533	1107872
4224	0,062170218	262,607	1109252
4230	0,06206671	262,5422	1110553
4236	0,06195614	262,4462	1111722
4242	0,061837951	262,3166	1112747
4248	0,061713072	262,1571	1113643
4254	0,061582432	261,9717	1114427
4260	0,061445474	261,7577	1115088
4266	0,061301269	261,5112	1115607
4272	0,061150931	261,2368	1116004
4278	0,060995204	260,9375	1116291
4284	0,060834459	260,6148	1116474
4290	0,060668883	260,2695	1116556
4296	0,060497732	259,8983	1116523
4302	0,060320263	259,4978	1116359
4308	0,060137776	259,0735	1116089
4314	0,059950829	258,6279	1115721
4320	0,059759608	258,1615	1115258
4326	0,059565042	257,6784	1114717
4332	0,059368804	257,1857	1114128
4338	0,059169778	256,6785	1113471
4344	0,058967407	256,1544	1112735
4350	0,058764479	255,6255	1111971
4356	0,058562851	255,0998	1111215
4362	0,05836271	254,5781	1110470
4368	0,058164428	254,0622	1109744
4374	0,057968747	253,5553	1109051
4380	0,057774367	253,0517	1108367
4386	0,057582217	252,5556	1107709
4392	0,057392482	252,0678	1107082

4398	0,057206279	251,5932	1106507
4404	0,057024164	251,1344	1105996
4410	0,056846508	250,6931	1105557
4416	0,056673313	250,2694	1105189
4422	0,056503649	249,8591	1104877
4428	0,056338816	249,4683	1104646
4434	0,056179558	249,1002	1104510
4440	0,056025318	248,7524	1104461
4446	0,055877024	248,4292	1104516
4452	0,055734491	248,13	1104675
4458	0,055596418	247,8488	1104910
4464	0,055463176	247,5876	1105231
4470	0,055334209	247,3439	1105627
4476	0,055209888	247,1195	1106107
4482	0,055090212	246,9143	1106670
4488	0,054975182	246,7286	1107318
4494	0,054864426	246,5607	1108044
4500	0,054758316	246,4124	1108856
4506	0,054657038	246,2846	1109758
4512	0,054559476	246,1724	1110730
4518	0,054464145	246,069	1111740
4524	0,0543716	245,9771	1112800
4530	0,054283144	245,9026	1113939
4536	0,054198219	245,8431	1115144
4542	0,054115153	245,791	1116383
4548	0,054033572	245,7447	1117647
4554	0,053953479	245,7041	1118937
4560	0,05386874	245,6415	1120125
4566	0,053776381	245,543	1121149
4572	0,05368235	245,4357	1122132
4578	0,05358962	245,3333	1123136
4584	0,053497819	245,234	1124153
4590	0,053406204	245,1345	1125167
4596	0,053316262	245,0415	1126211
4602	0,053227806	244,9544	1127280
4608	0,053141208	244,8747	1128383
4614	0,053055725	244,7991	1129503
4620	0,0529708	244,7251	1130630
4626	0,052886433	244,6526	1131763
4632	0,052802065	244,5792	1132891
4638	0,052717511	244,5038	1134009
4644	0,052632586	244,4257	1135113
4650	0,052547475	244,3458	1136208
4656	0,052462179	244,2639	1137293
4662	0,05237651	244,1793	1138364
4668	0,052290284	244,091	1139417

4674	0,052202943	243,9966	1140440
4680	0,052114487	243,8958	1141432
4686	0,052025102	243,7896	1142398
4692	0,051934416	243,6763	1143329
4698	0,051840943	243,5488	1144192
4704	0,051743753	243,4026	1144966
4710	0,051644704	243,2466	1145691
4716	0,051544541	243,0841	1146384
4722	0,051442705	242,9125	1147033
4728	0,051339383	242,7326	1147640
4734	0,051234202	242,5427	1148197
4740	0,051126048	242,3375	1148680
4746	0,05101362	242,1106	1149057
4752	0,050897661	241,8657	1149346
4758	0,050776498	241,5946	1149507
4764	0,050650133	241,2972	1149540
4770	0,050518564	240,9736	1149444
4776	0,050381606	240,6226	1149213
4782	0,050239073	240,2432	1148843
4788	0,050090965	239,8355	1148333
4794	0,049937653	239,4011	1147689
4800	0,049779511	238,9417	1146920
4806	0,049614306	238,4464	1145973
4812	0,049438881	237,8999	1144774
4818	0,049256208	237,3164	1143390
4824	0,049070562	236,7164	1141920
4830	0,048882315	236,1016	1140371
4836	0,048691651	235,4728	1138747
4842	0,048498944	234,8319	1137056
4848	0,048304749	234,1814	1135312
4854	0,048110927	233,5304	1133557
4860	0,047918591	232,8844	1131818
4866	0,047729228	232,2504	1130131
4872	0,047543396	231,6314	1128508
4878	0,047361095	231,0274	1126952
4884	0,047181582	230,4348	1125444
4890	0,047004298	229,851	1123971
4896	0,046829059	229,2751	1122531
4902	0,046657722	228,7162	1121167
4908	0,046489544	228,1707	1119862
4914	0,046324154	227,6369	1118608
4920	0,046163781	227,1258	1117459
4926	0,046008983	226,6403	1116430
4932	0,045859946	226,1813	1115526
4938	0,045716856	225,7498	1114753
4944	0,045578225	225,3387	1114075

4950	0,045444054	224,9481	1113493
4956	0,045315273	224,5825	1113031
4962	0,045193181	224,2486	1112721
4968	0,045079267	223,9538	1112602
4974	0,044972413	223,6928	1112648
4980	0,044872436	223,4647	1112854
4986	0,044778219	223,2642	1113195
4992	0,044687533	223,0802	1113616
4998	0,044599077	222,9062	1114085
5004	0,04451378	222,747	1114626
5010	0,044432572	222,6072	1115262
5016	0,044356938	222,4944	1116032
5022	0,044287809	222,4134	1116960
5028	0,044223697	222,3567	1118010
5034	0,044164045	222,3218	1119168
5040	0,04410811	222,3049	1120417
5046	0,044054962	222,3013	1121733
5052	0,044000327	222,2897	1123007
5058	0,043942905	222,2632	1124207
5064	0,043884926	222,2333	1125389
5070	0,043822672	222,1809	1126457
5076	0,043762277	222,1373	1127569
5082	0,043704483	222,1062	1128744
5088	0,043649291	222,0876	1129982
5094	0,043595585	222,0759	1131255
5100	0,043542066	222,0645	1132529
5106	0,043488546	222,0525	1133800
5112	0,043434283	222,0361	1135048
5118	0,04338002	222,0189	1136293
5124	0,043325943	222,0021	1137539
5130	0,043274468	221,998	1138850
5136	0,043225223	222,0047	1140216
5142	0,043176535	222,0137	1141595
5148	0,043127289	222,0193	1142955
5154	0,043076743	222,0175	1144278
5160	0,043024896	222,0085	1145564
5166	0,042971562	221,9911	1146806
5172	0,042916556	221,9644	1148000
5178	0,042859877	221,9284	1149145
5184	0,042800969	221,8802	1150227
5190	0,042739458	221,8178	1151234
5196	0,042675346	221,7411	1152167
5202	0,042609004	221,652	1153034
5208	0,042540804	221,5525	1153845
5214	0,042472046	221,4492	1154636
5220	0,042402917	221,3432	1155412

5226	0,04233323	221,2335	1156166
5232	0,042261685	221,1131	1156864
5238	0,042187166	220,9764	1157474
5244	0,042108188	220,8153	1157956
5250	0,042024749	220,6299	1158307
5256	0,041936293	220,4172	1158513
5262	0,041842448	220,175	1158561
5268	0,041742842	219,9013	1158440
5274	0,04163729	219,5951	1158144
5280	0,041526534	219,2601	1157693
5286	0,041410947	218,8983	1157096
5292	0,041291457	218,5144	1156378
5298	0,041167879	218,1074	1155533
5304	0,041040955	217,6812	1154581
5310	0,040911988	217,2427	1153559
5316	0,040780048	216,7867	1152438
5322	0,040643647	216,3055	1151178
5328	0,040502787	215,7988	1149776
5334	0,040357652	215,2677	1148238
5340	0,040208429	214,713	1146567
5346	0,040056047	214,1396	1144790
5352	0,039894559	213,5157	1142736
5358	0,039727125	212,8579	1140493
5364	0,039557646	212,1872	1138172
5370	0,039388353	211,5155	1135838
5376	0,039220175	210,8477	1133517
5382	0,039053856	210,1879	1131231
5388	0,038888651	209,5321	1128959
5394	0,038723633	208,8753	1126673
5400	0,038558986	208,2185	1124380
5406	0,038397312	207,5759	1122155
5412	0,038236939	206,9383	1119950
5418	0,038079354	206,3139	1117809
5424	0,037926043	205,7109	1115776
5430	0,037777563	205,1322	1113868
5436	0,037634844	204,583	1112113
5442	0,037498815	204,0686	1110541
5448	0,037369662	203,5899	1109158
5454	0,037246084	203,1401	1107926
5460	0,037127152	202,7142	1106820
5466	0,037012679	202,3113	1105834
5472	0,03690341	201,9355	1104991
5478	0,036799902	201,5899	1104309
5484	0,036701969	201,2736	1103784
5490	0,036609796	200,9878	1103423
5496	0,03652357	200,7335	1103232

5502	0,036442919	200,5089	1103200
5508	0,036367657	200,3131	1103324
5514	0,036297041	200,1419	1103582
5520	0,03622977	199,9883	1103936
5526	0,03616603	199,8535	1104390
5532	0,036106192	199,7395	1104959
5538	0,036050071	199,6453	1105636
5544	0,035998223	199,5741	1106439
5550	0,035950651	199,5261	1107370
5556	0,035906608	199,4971	1108406
5562	0,035860336	199,4552	1109370
5568	0,035813692	199,4106	1110318
5574	0,035770022	199,3821	1111356
5580	0,035729325	199,3696	1112483
5586	0,035690858	199,3691	1113676
5592	0,035651647	199,364	1114844
5598	0,035610392	199,347	1115944
5604	0,035570253	199,3357	1117077
5610	0,035533272	199,3417	1118307
5616	0,035497964	199,3566	1119586
5622	0,035461541	199,3648	1120829
5628	0,03542326	199,3621	1122010
5634	0,035384049	199,3537	1123159
5640	0,035343166	199,3355	1124252
5646	0,03530154	199,3125	1125318
5652	0,035260285	199,2911	1126393
5658	0,035219216	199,2703	1127471
5664	0,035178519	199,2511	1128558
5670	0,035138008	199,2325	1129648
5676	0,035097868	199,2155	1130747
5682	0,0350581	199,2001	1131855
5688	0,035018704	199,1864	1132972
5694	0,034979122	199,1711	1134080
5700	0,034938982	199,1522	1135168
5706	0,034897542	199,1254	1136209
5712	0,034854986	199,0917	1137212
5718	0,034810758	199,0479	1138156
5724	0,034764486	198,9919	1139030
5730	0,034715984	198,9226	1139826
5736	0,034665809	198,8431	1140564
5742	0,034614148	198,7544	1141248
5748	0,034561929	198,662	1141909
5754	0,034508224	198,5603	1142516
5760	0,034452103	198,4441	1143038
<b>SOMATÓRIO</b>	<b>108,1432526</b>	<b>226498,8</b>	<b>6,98E+08</b>

## Lagoa de Maturação

Tempo - t (h)	Concentração relativa - C	t X C	t <sup>2</sup> X C
0	0	0	0
6	0,000160972	0,000966	0,005795
12	0,000606323	0,007276	0,087311
18	0,001953598	0,035165	0,632966
24	0,006384272	0,153223	3,677341
30	0,019829291	0,594879	17,84636
36	0,055175494	1,986318	71,50744
42	0,134198574	5,63634	236,7263
48	0,279853097	13,43295	644,7815
54	0,495579756	26,76131	1445,111
60	0,741925129	44,51551	2670,93
66	0,939482331	62,00583	4092,385
72	1	72	5184
78	0,897780108	70,02685	5462,094
84	0,688816403	57,86058	4860,289
90	0,465993827	41,93944	3774,55
96	0,291379228	27,97241	2685,351
102	0,17960168	18,31937	1868,576
108	0,120835958	13,05028	1409,431
114	0,092222204	10,51333	1198,52
120	0,077290073	9,274809	1112,977
126	0,066629649	8,395336	1057,812
132	0,058455686	7,716151	1018,532
138	0,053296741	7,35495	1014,983
144	0,050410124	7,259058	1045,304
150	0,049366172	7,404926	1110,739
156	0,049385512	7,70414	1201,846
162	0,049445326	8,010143	1297,643
168	0,0489076	8,216477	1380,368
172	0,047723086	8,208371	1411,84
178	0,046358133	8,251748	1468,811
184	0,045144909	8,306663	1528,426
190	0,043883435	8,337853	1584,192
196	0,042048944	8,241593	1615,352
202	0,039387825	7,956341	1607,181
208	0,036055595	7,499564	1559,909
214	0,032617694	6,980186	1493,76
220	0,029696983	6,533336	1437,334
226	0,027479883	6,210453	1403,562
232	0,025766415	5,977808	1386,852
238	0,024280639	5,778792	1375,352
244	0,022754388	5,552071	1354,705
250	0,021157757	5,289439	1322,36

256	0,019758472	5,058169	1294,891
262	0,018683477	4,895071	1282,509
268	0,017797335	4,769686	1278,276
272	0,016946303	4,609394	1253,755
278	0,016021282	4,453916	1238,189
284	0,014928323	4,239644	1204,059
290	0,013824917	4,009226	1162,676
296	0,012964594	3,83752	1135,906
302	0,01232337	3,721658	1123,941
<b>SOMATÓRIO</b>	<b>7,542568887</b>	<b>676,8665</b>	<b>77390,54</b>

## **ANEXO I**

### **Dados das análises de fitoplâncton**

<b>17/01/2000</b>		<b>17/01/2000</b>	
<b>HORA:</b>	11:30	<b>HORA:</b>	11:30
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa de maturação
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Merismopedia tenuissima</i>	**	<i>Chlamydomonas sp.</i>	*
<i>Monoraphidium sp.</i>	*	<i>Golenkiniopsis sp.</i>	****
<i>Picoplancton</i>	*	<i>Picoplancton</i>	*
<i>Scenedesmus spp.</i>	****	<i>Scenedesmus spp.</i>	****
<b>13/03/2000</b>		<b>13/03/2000</b>	
<b>HORA:</b>	12:15	<b>HORA:</b>	12:15
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa de maturação
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Picoplancton</i>	****	<i>Hyaloraphidium sp.</i>	**
<i>Scenedesmus spp.</i>	**	<i>Monoraphidium sp.</i>	*
		<i>Picoplancton</i>	***
		<i>Scenedesmus spp.</i>	****
<b>10/04/2000</b>		<b>10/04/2000</b>	
<b>HORA:</b>	11:40	<b>HORA:</b>	11:40
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa de maturação
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Chlorococcales</i>	***	<i>Picoplancton</i>	****
<i>Lepocinclis spp.</i>	**	<i>Scenedesmus spp.</i>	****
<i>Monoraphidium sp.</i>	**		
<i>Picoplancton</i>	***		
<i>Scenedesmus spp.</i>	**		
<b>08/05/2000</b>		<b>08/05/2000</b>	
<b>HORA:</b>	11:15	<b>HORA:</b>	11:15
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa de maturação
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Chlorella sp.</i>	***	<i>Chlorella sp.</i>	**
Fitoflagelado	***	<i>Peridinium sp.</i>	**
<i>Micractinium sp.</i>	****	<i>Picoplancton</i>	****
<i>Microcystis sp.</i>	***	<i>Scenedesmus spp.</i>	***
<i>Monoraphidium sp.</i>	**		
<i>Scenedesmus spp.</i>	***		
<b>05/06/2000</b>		<b>05/06/2000</b>	
<b>HORA:</b>	11:15	<b>HORA:</b>	11:15
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa de maturação
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Chlorococcales</i>	****	<i>Picoplancton</i>	****
<i>Micractinium sp.</i>	****		
<i>Microcystis sp.</i>	***		
<i>Scenedesmus spp.</i>	**		
<b>03/07/2000</b>		<b>03/07/2000</b>	
<b>HORA:</b>	11:30	<b>HORA:</b>	11:30
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa de maturação
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom

<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>		<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>	
<i>Microcystis flos-aquae</i>	**	<i>Fitoflagelado</i>	**
<i>Microcystis novacekii</i>	*****	<i>Microcystis sp.</i>	*
		<i>Scenedesmus spp.</i>	*****
<b>05/04/2004</b>		<b>03/05/2004</b>	
HORA:	11:30	HORA:	11:30
LOCAL DE COLETA:	Lagoa facultativa	LOCAL DE COLETA:	Lagoa facultativa
TEMPO:	Nublado	TEMPO:	Bom
<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>		<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>	
<i>Chlorella sp.</i>	****	<i>Chlorella sp.</i>	****
<i>Microcystis sp.</i>	*****	<i>Microcystis sp.</i>	*****
<i>Scenedesmus spp.</i>	*	<i>Phacus sp.</i>	**
<b>28/06/2004</b>		<b>20/09/2004</b>	
HORA:	11:00	HORA:	11:00
LOCAL DE COLETA:	Lagoa facultativa	LOCAL DE COLETA:	Lagoa facultativa
TEMPO:	Bom	TEMPO:	Bom
<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>		<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>	
<i>Chlorella sp.</i>	****	<i>Chlorella sp.</i>	*
<i>Microcystis sp.</i>	****	<i>Monoraphidium sp.</i>	*
<i>Phacus sp.</i>	*	<i>Scenedesmus spp.</i>	***
<i>Scenedesmus spp.</i>	*		
<b>20/10/2004</b>		<b>16/11/2004</b>	
HORA:	13:00	HORA:	11:30
LOCAL DE COLETA:	Lagoa facultativa	LOCAL DE COLETA:	Lagoa facultativa
TEMPO:	Bom	TEMPO:	Bom
<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>		<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>	
<i>Bacillariophyceae sp.</i>	*	<i>Chlorella sp.</i>	**
<i>Euglena spp.</i>	****	<i>Chlorobiales</i>	***
<i>Chlamydomonas sp.</i>	*****	<i>Fitoflagelado</i>	*
<i>Chlorococcales</i>	*****	<i>Monoraphidium sp.</i>	*
<i>Coelastrum sp.</i>	***	<i>Oocystis sp.</i>	**
<i>Scenedesmus spp.</i>	***	<i>Strombomonas sp.</i>	*****
		<i>Scenedesmus spp.</i>	**
<b>13/12/2004</b>		<b>10/01/2005</b>	
HORA:	11:30	HORA:	10:50
LOCAL DE COLETA:	Lagoa facultativa	LOCAL DE COLETA:	Lagoa facultativa
TEMPO:	Chuvoso	TEMPO:	Nublado
<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>		<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>	
<i>Bacillariophyceae sp.</i>	**	<i>Chlorella sp.</i>	***
<i>Chlorococcales</i>	****	<i>Chlorococcales</i>	*
<i>Fitoflagelado</i>	*****	<i>Micractinium sp.</i>	*
<i>Glenodiniopsis sp.</i>	***	<i>Trachelomonas sp.</i>	**
<i>Oocystis sp.</i>	*****	<i>Oocystis sp.</i>	*****
<i>Monoraphidium sp.</i>	**	<i>Scenedesmus spp.</i>	***
<i>Scenedesmus spp.</i>	***		
<b>11/02/2005</b>		<b>04/04/2005</b>	
HORA:	11:00	HORA:	11:50
LOCAL DE COLETA:	Lagoa facultativa	LOCAL DE COLETA:	Lagoa facultativa
TEMPO:	Bom	TEMPO:	Bom
<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>		<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>	
<i>Oocystis sp.</i>	**	<i>Nostocaceae</i>	*
<i>Scenedesmus spp.</i>	*****	<i>Oocystis sp.</i>	*****
		<i>Monoraphidium sp.</i>	*

		<i>Scenedesmus spp.</i> ****	
<b>08/01/2007</b>		<b>26/03/2007</b>	
<b>HORA:</b>	10:45	<b>HORA:</b>	10:45
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa de maturação
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Sphaerocavum brasiliense</i>	**	<i>Peridinales</i>	**
<i>Microcystis novacekii.</i>	***	<i>Chlorococcales</i>	****
		<i>Monoraphidium sp.</i>	*
		<i>Scenedesmus spp.</i>	*
<b>28/05/2007</b>		<b>07/08/2007</b>	
<b>HORA:</b>	10:45	<b>HORA:</b>	12:30
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Cosmarium sp.</i>	*	<i>Sulfobacteria</i>	****
Fitoflagelado	*	<i>Micractinium sp.</i>	*****
<i>Cyclotella sp.</i>	*	Fitoflagelado	**
<i>Sphaerocavum brasiliense</i>	*****	<i>Lepocinclis spp.</i>	*
<i>Monoraphidium sp.</i>	**	<i>Planktothrix sp.</i>	***
<i>Scenedesmus spp.</i>	*	<i>Monoraphidium sp.</i>	*
		<i>Scenedesmus spp.</i>	***
<b>18/09/2007</b>		<b>13/11/2007</b>	
<b>HORA:</b>	13:00	<b>HORA:</b>	10:30
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Chlorococcales</i>	*	<i>Bacillariophyceae sp.</i>	*
Fitoflagelado	*	<i>Chlorococcales</i>	***
<i>Scenedesmaceae</i>	*****	Fitoflagelado	**
<i>Scenedesmus spp.</i>	*	<i>Cyclotella sp.</i>	*
		<i>Oocystis sp.</i>	**
		<i>Monoraphidium sp.</i>	*
		<i>Micractinium sp.</i>	**
		<i>Planktothrix sp.</i>	*
		<i>Scenedesmus spp.</i>	***
<b>07/02/2008</b>		<b>04/03/2008</b>	
<b>HORA:</b>	11:30	<b>HORA:</b>	11:30
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Nublado	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Chlorococcaceae</i>	*	Fitoflagelado	**
<i>Chlorococcales</i>	**	<i>Chlorococcales</i>	*****
<i>Monoraphidium sp.</i>	*	<i>Monoraphidium sp.</i>	**
<i>Scenedesmus spp.</i>	**	<i>Scenedesmus spp.</i>	*
<b>01/04/2008</b>		<b>27/05/2008</b>	
<b>HORA:</b>	11:00	<b>HORA:</b>	11:30
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Tetraedron gracile</i>	*	Fitoflagelado	**
<i>Chlorococcales</i>	****	<i>Synechocystis</i>	*****
<i>Monoraphidium sp.</i>	*	<i>Scenedesmus spp.</i>	*

<i>Synechocystis</i> *****			
<b>25/08/2008</b>		<b>16/09/2008</b>	
<b>HORA:</b>	09:30	<b>HORA:</b>	10:00
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Chuvoso
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
Fitoflagelado	*	<i>Bacteria Filamentosa</i>	**
<i>Monoraphidium sp.</i>	*	<i>Desmodesmus sp</i>	**
<i>Synechocystis</i>	****	Fitoflagelado	***
		<i>Picoplancton</i>	*****
		<i>Synechocystis aquatilis</i>	**
<b>21/10/2008</b>		<b>18/11/2008</b>	
<b>HORA:</b>	10:00	<b>HORA:</b>	11:00
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Chlorella sp.</i>	*****	<i>Chlorococcales</i>	*****
<i>Sulfobacteria</i>	*****	<i>Eudorina sp.</i>	****
		<i>Pandorina sp.</i>	*
<b>16/12/2008</b>		<b>13/01/2009</b>	
<b>HORA:</b>	10:30	<b>HORA:</b>	09:40
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Chuvoso	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Acanthosphaera</i>	**	<i>Micractinium sp.</i>	*****
<i>Bacillariophyceae sp</i>	*		
Fitoflagelado	*		
<i>Closteriopsis sp.</i>	**		
<i>Micractinium sp.</i>	****		
<b>03/02/2009</b>		<b>03/03/2009</b>	
<b>HORA:</b>	10:00	<b>HORA:</b>	10:00
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Kirchneriella sp.</i>	*****	<i>Micractinium sp.</i>	*****
<i>Monoraphidium sp.</i>	*	<i>Pandorina sp.</i>	*
<b>02/04/2009</b>		<b>27/05/2009</b>	
<b>HORA:</b>	10:30	<b>HORA:</b>	09:30
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Nublado	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Bacillariophyceae sp.</i>	*	<i>Chlorella sp.</i>	**
<i>Chlorococcales</i>	****	<i>Chlorococcales</i>	****
<i>Dictyosphaerium sp.</i>	*	<i>Monoraphidium sp.</i>	**
<i>Monoraphidium sp.</i>	**		
<i>Micractinium sp.</i>	*****		
<i>Strombomonas sp.</i>	*		
<b>23/06/2009</b>		<b>14/07/2009</b>	
<b>HORA:</b>	10:00	<b>HORA:</b>	11:00
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Bacillariophyceae sp.</i>	*	<i>Chlorella sp.</i>	****
<i>Chlorococcales</i>	*	<i>Chlorobiales</i>	*****

<i>Chlorella sp.</i>	*	<i>Chlorogonium</i>	**
<i>Monoraphidium sp.</i>	*	<i>Monoraphidium sp.</i>	**
		<i>Sulfobacteria</i>	***
<b>19/08/2009</b>		<b>15/09/2009</b>	
<b>HORA:</b>	10:00	<b>HORA:</b>	10:30
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Bacteria Filamentosa.</i>	**	<i>Chlamydomonas sp.</i>	***
<i>Chlorella sp.</i>	****	<i>Chlorella sp.</i>	***
<i>Chlorobiaceae</i>	****	<i>Chlorobiaceae</i>	****
<i>Cryptomonas sp.</i>	*	<i>Oocystis sp.</i>	**
<i>Lepocinclis sp.</i>	*	<i>Synechocystis sp</i>	***
<i>Monoraphidium sp.</i>	*		
<i>Sulfobacteria</i>	***		
<i>Synechocystis aquatilis</i>	**		
<b>19/10/2009</b>		<b>10/11/2009</b>	
<b>HORA:</b>	09:30	<b>HORA:</b>	10:30
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Crucigeniella sp.</i>	*	<i>Chlorella sp.</i>	**
<i>Desmodesmus sp</i>	*	<i>Desmodesmus sp</i>	*
<i>Euglena sp.</i>	*	<i>Euglena sp.</i>	***
<i>Glochidinium sp</i>	*	<i>Lepocinclis sp.</i>	****
<i>Lepocinclis sp.</i>	*	<i>Micractinium sp.</i>	**
<i>Monoraphidium sp.</i>	***	<i>Peranema sp.</i>	*
<i>Micractinium sp.</i>	**	<i>Strombomonas sp.</i>	*
<i>Strombomonas sp.</i>	***	<i>Wolffia sp.</i>	***
		<i>Scenedesmus spp.</i>	*
<b>03/12/2009</b>		<b>05/01/2010</b>	
<b>HORA:</b>	10:00	<b>HORA:</b>	11:20
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Chuvoso	<b>TEMPO:</b>	Nublado
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Aphanocapsa sp.</i>	****	<i>Bacteria Filamentosa</i>	**
<i>Aulacoseira granulata</i>	***	<i>Chlorobiaceae</i>	****
<i>Bacillariophyceae</i>	*	<i>Chlorococcales</i>	****
<i>Chlamydomonas sp</i>	***	<i>Lepocinclis sp.</i>	***
<i>Chlorella sp.</i>	***		
<i>Chlorococcales</i>	***		
<i>Closterium sp.</i>	***		
<i>Cyclotella sp.</i>	***		
<i>Lepocinclis sp.</i>	***		
<i>Monoraphidium sp.</i>	**		
<i>Oocystis sp.</i>	**		
<i>Phacus longicauda</i>	*		
<i>Phacus tortus</i>	*		
<b>02/02/2010</b>		<b>02/03/2010</b>	
<b>HORA:</b>	10:00	<b>HORA:</b>	10:15
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Chuvoso

<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>		<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>	
<i>Chlamydomonas sp</i>	**	<i>Chlorococcales</i>	*****
<i>Chlorella sp.</i>	*	<i>Cryptomonas sp.</i>	*
<i>Eudorina elegans</i>	***	<i>Desmodesmus sp</i>	*
<i>Lepocinclis sp.</i>	***	<i>Phacus sp.</i>	**
<i>Scenedesmus sp.</i>	*	<i>Scenedesmus sp.</i>	*
<i>Sulfobacteria</i>	*****	<i>Wolffia sp.</i>	*
<i>Synechococcus elongatus</i>	*		

---

<b>27/04/2010</b>		<b>25/05/2010</b>	
<b>HORA:</b>	11:00	<b>HORA:</b>	11:30
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>		<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>	
<i>Chlorococcales</i>	*****	<i>Bacteria Filamentosa</i>	**
<i>Coelastrum sp.</i>	*	<i>Chlorella sp.</i>	***
<i>Desmodesmus sp</i>	**	<i>Closteriopsis sp.</i>	**
<i>Scenedesmus sp.</i>	**	<i>Closterium sp.</i>	*
		<i>Coelastrum sp.</i>	*
		<i>Crucigeniella sp.</i>	*
		<i>Cyclotella sp.</i>	*
		<i>Desmodesmus sp</i>	*
		<i>Euglena sp.</i>	**
		<i>Lepocinclis sp.</i>	*
		<i>Micractinium sp.</i>	***
		<i>Monoraphidium sp.</i>	**
		<i>Oocystis sp.</i>	***

---

<b>22/06/2010</b>		<b>21/07/2010</b>	
<b>HORA:</b>	10:30	<b>HORA:</b>	11:20
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>		<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>	
<i>Bacillariophyceae</i>	*	<i>Lepocinclis salina</i>	****
<i>Chlorococcales</i>	*****	<i>Phacus pleuronectes</i>	*****
<i>Coelastrum sp.</i>	*		
<i>Desmodesmus sp</i>	**		
<i>Lepocinclis sp.</i>	***		
<i>Phacus sp.</i>	***		

---

<b>17/08/2010</b>		<b>14/09/2010</b>	
<b>HORA:</b>	10:00	<b>HORA:</b>	10:30
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa
<b>TEMPO:</b>	Bom	<b>TEMPO:</b>	Bom
<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>		<u>RESULTADO DA ANÁLISE</u>	
<i>Chlamydomonas sp</i>	*	<i>Bacillariophyceae</i>	*
<i>Chlorella sp.</i>	*	<i>Chlorella sp.</i>	*
<i>Desmodesmus sp</i>	*	<i>Cryptomonas sp.</i>	*****
<i>Euglena sp.</i>	*	<i>Desmodesmus sp</i>	*
<i>Lepocinclis sp.</i>	***	<i>Lepocinclis sp.</i>	**
<i>Peranema sp.</i>	*	<i>Micractinium sp.</i>	*
<i>Phacus sp.</i>	**	<i>Oocystis sp.</i>	*
		<i>Phacus sp.</i>	***

		<i>Sulfobacteria</i> ***	
<b>13/10/2010</b>		<b>09/11/2010</b>	
<b>HORA:</b>	10:00	<b>HORA:</b> 10:30	
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa	<b>LOCAL DE COLETA:</b> Lagoa facultativa	
<b>TEMPO:</b>	Nublado	<b>TEMPO:</b> Nublado	
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>		<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>	
<i>Bacillariophyceae</i>	***	<i>Phormidiaceae</i>	*
<i>Bactéria Filamentosa</i>	****	<i>Closterium sp.</i>	*
<i>Chlorella sp.</i>	****	<i>Lepocinclis sp.</i>	*****
<i>Desmodesmus sp</i>	***	<i>Wolffia sp</i>	***
<i>Chlorococcales</i>	*****		
<i>Euglena spp.</i>	**		
<i>Oocystis sp.</i>	*		
<i>Phacus sp.</i>	***		
<i>Sulfobacteria</i>	***		
<i>Lepocinclis sp.</i>	****		
<i>Monoraphidium sp.</i>	***		
<i>Scenedesmus sp.</i>	*		
<i>Sulfobacteria</i>	**		
<b>07/12/2010</b>			
<b>HORA:</b>	10:00		
<b>LOCAL DE COLETA:</b>	Lagoa facultativa		
<b>TEMPO:</b>	Nublado		
<b><u>RESULTADO DA ANÁLISE</u></b>			
<i>Bacillariophyceae</i>	*		
<i>Chlorococcales</i>	**		
<i>Coelastrum sp.</i>	*		
<i>Cyclotella sp.</i>	*		
<i>Desmodesmus sp</i>	*		
<i>Sulfobacteria</i>	**		
<i>Lepocinclis sp.</i>	*		
<i>Monoraphidium sp.</i>	*		
<i>Micractinium sp.</i>	**		
<i>Wolffia sp</i>	***		
<i>Oocystis sp.</i>	*		
		<b><u>LEGENDA:</u></b>	
		* = Organismo encontrado em 10% dos campos analisados	
		** = Organismo encontrado em 25% dos campos analisados	
		*** = Organismo encontrado em 50% dos campos analisados	
		**** = Organismo encontrado em 75% dos campos analisados	
		***** = Organismo encontrado em 100% dos campos analisados	

## **ANEXO II**

### **Planilhas de monitoramento da ETEI da GOL**



Parâmetros	Janeiro/2007		fevereiro/2007	
	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	*	*	*	*
Temperatura	*	*	*	*
DBO	-	-	1.485,37	56,67
DQO	4.272,20	82,33	3.366,34	79,39
Detergentes	8,56	0,76	17,94	1,54
Óleos e graxas	137,5	Não detectado	165,00	<2,0
Sólidos suspensos	1.200,00	3	1.450,00	4,00
Sólidos sedimentáveis	0,7	<0,10	NA	NA
Alumínio	-	-	16,41	1,21
Bário	-	-	17,15	4,96
Sulfato	-	-	1.880,00	133,00
Cromo total	-	-	1,75	0,05
Cromo trivalente	1,1734	0,0236	0,44	não detectado
Cromo hexavalente	Não detectado	Não detectado	não detectado	não detectado
Nitrogênio amoniacal	-	-	244,55	3,89
Chumbo	-	-	0,09	0,08
Cianetos	Não detectado	Não detectado	-	-
Níquel	0,1232	0,0987	-	-
Ferro Total	6,9023	0,3694	-	-
Ferro Dissolvido	NA	NA	NA	NA
Fluoretos	Não detectado	Não detectado	-	-
Fenóis	-	-	0,98	0,23
Sulfeto	-	-	não detectado	não detectado
Zinco	1,2374	0,1941	NA	NA
Cádmio Total	NA	NA	NA	NA
Cobalto Total	NA	NA	NA	NA
Cobre Total	NA	NA	NA	NA
Estanho Total	NA	NA	NA	NA
Mercúrio Total	NA	NA	NA	NA
Prata Total	NA	NA	NA	NA
Selênio Total	NA	NA	NA	NA
Arsênio Total	NA	NA	NA	NA
Boro Total	NA	NA	NA	NA
NA: NÃO SE APLICA				



Parâmetros	Março/2007		Abril /2007	
	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	*	*	*	*
Temperatura	*	*	*	*
DBO	-	-	-	-
DQO	6.800,00	182	618,00	217,8
Detergentes	12,22	3,83	11,16	1,64
Óleos e graxas	258	0,83	< 2,00	7,40
Sólidos suspensos	750,00	7	150,00	26,00
Sólidos sedimentáveis	56	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Alumínio	-	-	-	-
Bário	-	-	-	-
Sulfato	-	-	-	-
Cromo total	-	-	-	-
Cromo trivalente	6,6908	0,0158	0,1371	0,0284
Cromo hexavalente	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrogênio amoniacal	-	-	-	-
Chumbo	-	-	-	-
Cianetos	0,09	0,07	< 0,002	< 0,002
Níquel	1,1705	0,0005	0,0456	0,0789
Ferro Total	69,3409	0,264	3,0652	1,1051
Ferro Dissolvido	NA	NA	NA	NA
Fluoretos	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Fenóis	-	-	-	-
Sulfeto	-	-	-	-
Zinco	5,265	0,0559	0,3972	0,1151
Cádmio Total	NA	NA	NA	NA
Cobalto Total	NA	NA	NA	NA
Cobre Total	NA	NA	NA	NA
Estanho Total	NA	NA	NA	NA
Mercúrio Total	NA	NA	NA	NA
Prata Total	NA	NA	NA	NA
Selênio Total	NA	NA	NA	NA
Arsênio Total	NA	NA	NA	NA
Boro Total	NA	NA	NA	NA
NA: NÃO SE APLICA				



Linhas aéreas inteligentes

Parâmetros	Maio/2007		Junho/2007	
	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	7,6	7,48	7,05	7,25
Temperatura	23,5	22	21	21,5
DBO	860	70	301,8	59
DQO	1.800	160	810	150
Detergentes	1,78	1,74	6,2	3,0
Óleos e graxas	47,5	não detectado	48,2	0,36
Sólidos suspensos	17,57	1,33	2,49	1,79
Sólidos sedimentáveis	25	0,2	0,4	<0,1
Alumínio	0,53	0,11	0,22	0,42
Bário	0,17	0,15	0,14	0,12
Sulfato	98,56	5,67	47,79	13,86
Cromo total	0,05	< 0,01	0,03	< 0,01
Cromo trivalente	0,06	< 0,01	0,05	< 0,01
Cromo hexavalente	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrogênio amoniacal	0,84	0,32	0,97	0,25
Chumbo	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cianetos	0,13	< 0,01	0,05	0,03
Níquel	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ferro Total	2,17	0,54	1,45	0,26
Ferro Dissolvido	NA	NA	NA	NA
Fluoretos	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Fenóis	5,04	0,75	30,2	0,63
Sulfeto	0,81	0,01	0,21	0,02
Zinco	-	-	< 0,01	< 0,01
Cádmio Total	NA	NA	NA	NA
Cobalto Total	NA	NA	NA	NA
Cobre Total	NA	NA	NA	NA
Estanho Total	NA	NA	NA	NA
Mercúrio Total	NA	NA	NA	NA
Prata Total	NA	NA	NA	NA
Selênio Total	NA	NA	NA	NA
Arsênio Total	NA	NA	NA	NA
Boro Total	NA	NA	NA	NA
NA: NÃO SE APLICA				



Linhas aéreas inteligentes

Parâmetros	Julho /2007		Agosto/2007	
	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	7,12	7,48	9,38	7,72
Temperatura	22	22	21	21
DBO	552,2	190	2613	150,6
DQO	1.680	493	7.460	284,5
Detergentes	5,38	1,1	6,9	1,84
Óleos e graxas	196,15	11,20	434,55	<1,0
Sólidos suspensos	9,26	1,37	20,91	1,21
Sólidos sedimentáveis	1,5	<0,1	140	<0,1
Alumínio	0,34	0,31	0,25	0,15
Bário	< 0,01	0,09	< 0,01	< 0,01
Sulfato	61,23	11	96,8	133,13
Cromo total	0,14	< 0,01	3,9	0,26
Cromo trivalente	0,08	< 0,01	1,66	0,09
Cromo hexavalente	0,03	< 0,01	2,32	0,12
Nitrogênio amoniacal	0,79	0,18	29,2	2,79
Chumbo	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cianetos	< 0,01	< 0,01	0,17	0,02
Níquel	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ferro Total	1,76	0,32	2,21	0,24
Ferro Dissolvido	NA	NA	NA	NA
Fluoretos	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Fenóis	42,7	0,28	8,0	0,37
Sulfeto	0,17	0,05	0,62	0,08
Zinco	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cádmio Total	NA	NA	NA	NA
Cobalto Total	NA	NA	NA	NA
Cobre Total	NA	NA	NA	NA
Estanho Total	NA	NA	NA	NA
Mercúrio Total	NA	NA	NA	NA
Prata Total	NA	NA	NA	NA
Selênio Total	NA	NA	NA	NA
Arsênio Total	NA	NA	NA	NA
Boro Total	NA	NA	NA	NA
NA: NÃO SE APLICA				



Linhas aéreas inteligentes

Parâmetros	Setembro/2007		Outubro/2007	
	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	6,92	7,79	6,44	6,86
Temperatura	24	20	26	26,1
DBO	245	10	1140	36
DQO	2090	150	2400	186
Detergentes	6,76	3,88	3,14	1,2
Óleos e graxas	125,2	51,8	114,6	24
Sólidos suspensos	5,62	2,06	7,184	1,354
Sólidos sedimentáveis	0,1	< 0,1	0,3	< 0,1
Alumínio	0,29	0,36	0,57	0,23
Bário	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Sulfato	150,6	6,6	170	215
Cromo total	2,58	0,02	2,97	0,04
Cromo trivalente	1,67	0,01	2,04	0,03
Cromo hexavalente	0,89	< 0,01	0,93	0,01
Nitrogênio amoniacal	14,23	0,05	0,76	0,7
Chumbo	< 0,01	< 0,01	0,3	< 0,01
Cianetos	0,15	< 0,01	0,2	0,08
Níquel	0,01	< 0,01	0,02	< 0,01
Ferro Total	2,57	0,25	1,96	0,21
Ferro Dissolvido	NA	NA	NA	NA
Fluoretos	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Fenóis	13,64	0,13	15,74	0,22
Sulfeto	0,78	< 0,1	0,8	0,02
Zinco	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cádmio Total	NA	NA	NA	NA
Cobalto Total	NA	NA	NA	NA
Cobre Total	NA	NA	NA	NA
Estanho Total	NA	NA	NA	NA
Mercúrio Total	NA	NA	NA	NA
Prata Total	NA	NA	NA	NA
Selênio Total	NA	NA	NA	NA
Arsênio Total	NA	NA	NA	NA
Boro Total	NA	NA	NA	NA
NA: NÃO SE APLICA				



Linhas aéreas inteligentes

Parâmetros	Novembro/2007		Dezembro/2007	
	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	6,86	7,47	7,6	7,31
Temperatura	26,3	24,8	25,0	26,6
DBO	1307	120	1545	110
DQO	2060	194	2220	153
Detergentes	5	2,8	18,7	3
Óleos e graxas	155,7	<0,2	262,4	14,7
Sólidos suspensos	10,02	0,89	29,936	1,583
Sólidos sedimentáveis	0,5	<0,1	1	<0,1
Alumínio	1,1	2	6	2
Bário	0,02	<0,01	0,15	<0,01
Sulfato	295	830	45,56	223,5
Cromo total	4,8	0,38	1,12	0,2
Cromo trivalente	3,7	0,3	0,64	0,13
Cromo hexavalente	1,1	0,08	0,48	0,07
Nitrogênio amoniacal	12,24	7,9	3,88	1,92
Chumbo	0,09	<0,01	0,12	<0,01
Cianetos	0,26	0,06	<0,01	<0,01
Níquel	0,34	<0,01	0,56	<0,01
Ferro Total	0,25	0,04	0,03	<0,01
Ferro Dissolvido	NA	NA	NA	NA
Fluoretos	0,08	<0,01	1,7	<0,01
Fenóis	103,5	1,06	4,57	2,45
Sulfeto	2,1	0,1	0,17	<0,01
Zinco	2,67	0,08	0,41	<0,01
Cádmio Total	NA	NA	NA	NA
Cobalto Total	NA	NA	NA	NA
Cobre Total	NA	NA	NA	NA
Estanho Total	NA	NA	NA	NA
Mercúrio Total	NA	NA	NA	NA
Prata Total	NA	NA	NA	NA
Selênio Total	NA	NA	NA	NA
Arsênio Total	NA	NA	NA	NA
Boro Total	NA	NA	NA	NA
NA: NÃO SE APLICA				



Parâmetros	Janeiro/2008		Fevereiro/2008	
	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	7,47	7,04	7,33	8,80
Temperatura	23,0	23,0	27,1	26,5
DBO	1890	90	1600	73
DQO	2860	124	2510	110
Detergentes	22,3	4,3	10	2,8
Óleos e graxas	139,75	11,3	55,66	1,4
Sólidos suspensos	42,384	1,124	4,75	1,719
Sólidos sedimentáveis	1,5	< 0,1	0,1	< 0,1
Alumínio	4,31	2,4	0,43	0,42
Bário	0,2	< 0,01	0,31	< 0,01
Sulfato	54,8	187,32	196,9	313,20
Cromo total	0,96	0,16	0,11	0,04
Cromo trivalente	0,60	0,10	0,03	0,01
Cromo hexavalente	0,36	0,06	0,09	0,03
Nitrogênio amoniacal	3,47	1,03	83,1	0,61
Chumbo	0,11	< 0,01	0,09	< 0,01
Cianetos	< 0,01	< 0,01	0,08	< 0,01
Níquel	0,48	< 0,01	0,52	< 0,01
Ferro Total	0,12	< 0,01	0,84	0,01
Ferro Dissolvido	NA	NA	NA	NA
Fluoretos	2,0	< 0,01	1,9	< 0,01
Fenóis	6,3	3,48	10,95	1,54
Sulfeto	0,21	< 0,01	0,44	< 0,01
Zinco	0,39	< 0,01	1,44	0,03
Cádmio Total	NA	NA	NA	NA
Cobalto Total	NA	NA	NA	NA
Cobre Total	NA	NA	NA	NA
Estanho Total	NA	NA	NA	NA
Mercúrio Total	NA	NA	NA	NA
Prata Total	NA	NA	NA	NA
Selênio Total	NA	NA	NA	NA
Arsênio Total	NA	NA	NA	NA
Boro Total	NA	NA	NA	NA
NA: NÃO SE APLICA				



Parâmetros	Março/2008		Abril/2008	
	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	9,49	7,12	7,01	6,89
Temperatura	25,3	24,2	25,1	24,3
DBO	490	78	1206	320
DQO	19100	1190	13200	1560
Detergentes	17,5	8,2	22,8	4,0
Óleos e graxas	350,85	3,2	227,66	<0,2
Sólidos suspensos	13,894	1,519	29,959	1,725
Sólidos sedimentáveis	1,4	< 0,1	42	< 0,1
Alumínio	0,34	0,08	1,2	0,06
Bário	0,43	< 0,01	0,37	< 0,01
Sulfato	160,5	182,6	445,1	192,5
Cromo total	2,53	< 0,01	3,01	< 0,01
Cromo trivalente	0,92	< 0,01	1,20	< 0,01
Cromo hexavalente	1,61	< 0,01	1,81	< 0,01
Nitrogênio amoniacal	61,14	18,55	75	19,1
Chumbo	0,07	< 0,01	0,05	< 0,01
Cianetos	0,18	0,14	0,22	0,07
Níquel	0,69	0,02	0,57	0,02
Ferro Total	0,78	0,01	0,09	0,02
Ferro Dissolvido	NA	NA	NA	NA
Fluoretos	1,8	< 0,01	1,95	< 0,01
Fenóis	13,29	3,05	9,09	2,4
Sulfeto	0,97	0,01	4,58	0,8
Zinco	4,61	0,06	4,79	0,09
Cádmio Total	NA	NA	NA	NA
Cobalto Total	NA	NA	NA	NA
Cobre Total	NA	NA	NA	NA
Estanho Total	NA	NA	NA	NA
Mercúrio Total	NA	NA	NA	NA
Prata Total	NA	NA	NA	NA
Selênio Total	NA	NA	NA	NA
Arsênio Total	NA	NA	NA	NA
Boro Total	NA	NA	NA	NA
NA: NÃO SE APLICA				



Parâmetros	Maio/2008		Junho/2008	
	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
	pH	7,05	7,02	7,02
Temperatura	24,8	23,4	23,3	22,5
DBO	480	100	502,5	352,1
DQO	14900	1860	6300	920
Detergentes	24,2	3,9	17,4	3,6
Óleos e graxas	629,2	12,2	98,01	<0,2
Sólidos suspensos	4	25,785	1,619	1,138
Sólidos sedimentáveis	20,47	12	0,2	<0,1
Alumínio	1,1	0,05	0,7	0,04
Bário	0,42	<0,01	0,13	<0,01
Sulfato	450	201,4	398,2	84,7
Cromo total	2,98	<0,01	2,37	<0,01
Cromo trivalente	1,10	<0,01	0,91	<0,01
Cromo hexavalente	1,88	<0,01	1,46	<0,01
Nitrogênio amoniacal	79	17,4	57	13,6
Chumbo	0,04	<0,01	0,08	<0,01
Cianetos	0,32	0,03	0,17	<0,01
Níquel	0,65	0,05	0,84	0,03
Ferro Total	0,12	0,04	0,11	<0,01
Ferro Dissolvido	NA	NA	NA	NA
Fluoretos	1,85	<0,01	2,37	0,03
Fenóis	10,1	3,7	5,02	0,73
Sulfeto	4,85	1,2	3,04	0,66
Zinco	5,01	0,06	5,08	<0,01
Cádmio Total	NA	NA	NA	NA
Cobalto Total	NA	NA	NA	NA
Cobre Total	NA	NA	NA	NA
Estanho Total	NA	NA	NA	NA
Mercúrio Total	NA	NA	NA	NA
Prata Total	NA	NA	NA	NA
Selênio Total	NA	NA	NA	NA
Arsênio Total	NA	NA	NA	NA
Boro Total	NA	NA	NA	NA
NA: NÃO SE APLICA				



Parâmetros	Julho/2008		Agosto/2008	
	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	7,28	7,14	7,73	7,14
Temperatura	21,0	20,0	22	23
DBO	376	300	444	270
DQO	1150	606	1625	2200
Detergentes	<0,1	0,84	0,1	0,18
Óleos e graxas	39	3	25	10
Sólidos suspensos	1704	11	493	30
Sólidos sedimentáveis	<0,3	<0,3	30	<0,3
Alumínio	17,8	0,304	6,9	0,462
Bário	0,303	0,079	0,150	0,071
Sulfato	45,9	1321,0	40,5	2600,0
Cromo total	0,191	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cromo trivalente	0,19	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cromo hexavalente	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrogênio amoniacal	0,83	0,88	2	1,4
Chumbo	0,075	< 0,01	0,05	< 0,01
Cianetos	0,024	< 0,005	0,025	0,020
Níquel	0,046	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Ferro Total	2,825	< 0,01	2,1	< 0,01
Ferro Dissolvido	NA	NA	NA	NA
Fluoretos	<0,5	<1	0,7	<2
Fenóis	0,5	0,08	<0,02	<0,02
Sulfeto	<1	<1	<0,05	<0,05
Zinco	0,736	<0,01	0,27	0,012
Cádmio Total	NA	NA	NA	NA
Cobalto Total	NA	NA	NA	NA
Cobre Total	NA	NA	NA	NA
Estanho Total	NA	NA	NA	NA
Mercúrio Total	NA	NA	NA	NA
Prata Total	NA	NA	NA	NA
Selênio Total	NA	NA	NA	NA
Arsênio Total	NA	NA	NA	NA
Boro Total	NA	NA	NA	NA
NA: NÃO SE APLICA				



Parâmetros	Setembro/2008		Outubro/2008	
	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	8,85	7,70	7,79	7,70
Temperatura	22	21	23	21
DBO	1171	246	748	219
DQO	2610	1045	2833	1241
Detergentes	0,2	0,12	3,03	1,40
Óleos e graxas	15	5	35	5
Sólidos suspensos	100	7	139	7
Sólidos sedimentáveis	9,2	<0,3	0,6	<0,3
Alumínio	1,6	0,481	3,7	0,481
Bário	0,032	0,037	0,103	0,037
Sulfato	7,6	1078,0	10,9	1078,0
Cromo total	0,024	< 0,01	0,045	< 0,01
Cromo trivalente	< 0,01	< 0,01	0,05	< 0,01
Cromo hexavalente	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrogênio amoniacal	2,1	1,1	0,29	1,1
Chumbo	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cianetos	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Níquel	0,019	0,011	0,013	0,011
Ferro Total	0,567	0,018	0,709	0,018
Ferro Dissolvido	NA	NA	NA	NA
Fluoretos	<0,5	<1	0,4	<1
Fenóis	<0,02	0,2	0,2	0,2
Sulfeto	<1	<1	<1	<1
Zinco	0,167	<0,01	0,207	<0,01
Cádmio Total	NA	NA	NA	NA
Cobalto Total	NA	NA	NA	NA
Cobre Total	NA	NA	NA	NA
Estanho Total	NA	NA	NA	NA
Mercúrio Total	NA	NA	NA	NA
Prata Total	NA	NA	NA	NA
Selênio Total	NA	NA	NA	NA
Arsênio Total	NA	NA	NA	NA
Boro Total	NA	NA	NA	NA
NA: NÃO SE APLICA				



Parâmetros	Novembro/2008		Dezembro/2008	
	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
	pH	10,7	7,78	8,3
Temperatura	22	22	23	22
DBO	1780	1201	1304	314
DQO	6854	2900	5916	1056
Detergentes	5,87	4,42	9,64	1,81
Óleos e graxas	213	31	183	2
Sólidos suspensos	1360	61	22040	34
Sólidos sedimentáveis	6,5	<0,3	333	<0,3
Alumínio	26	1,5	857	0,135
Bário	0,529	0,024	9,4	0,018
Sulfato	33,2	1100,0	51,3	840,0
Cromo total	0,7	0,632	9,4	<0,01
Cromo trivalente	0,69	<0,01	<0,01	<0,01
Cromo hexavalente	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrogênio amoniacal	12	2,6	16	4,7
Chumbo	0,074	<0,01	1,4	<0,01
Cianetos	0,02	0,01	<0,005	<0,005
Níquel	0,105	0,017	1,1	<0,01
Ferro Total	6,8	0,131	77,7	<0,01
Ferro Dissolvido	NA	NA	NA	NA
Fluoretos	<0,5	<1	1,1	<1
Fenóis	29,8	3,7		1,6
Sulfeto	<1	<1	<1	<1
Zinco	1,7	0,374	17,2	0,011
Cádmio Total	NA	NA	NA	NA
Cobalto Total	NA	NA	NA	NA
Cobre Total	NA	NA	NA	NA
Estanho Total	NA	NA	NA	NA
Mercúrio Total	NA	NA	NA	NA
Prata Total	NA	NA	NA	NA
Selênio Total	NA	NA	NA	NA
Arsênio Total	NA	NA	NA	NA
Boro Total	NA	NA	NA	NA
NA: NÃO SE APLICA				

				
Parâmetros	Unidade	Limites COPASA Norma técnica 187/2	Janeiro/2009	
			Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	-	entre 6 e 10	7,4	7,65
Temperatura	°C	Inferior 40	29	40
DBO	mg/l	-	622	273
DQO	mg/l	-	3061	1512
Detergentes	mg/l	5	11,15	1,57
Óleos e graxas	mg/l	150	21	1
Sólidos suspensos	mg/l	-	269	9
Sólidos sedimentáveis	ml/l	20	4,4	<0,3
Alumínio	mg/l	3	2,4	0,287
Bário	mg/l	5	0,032	0,064
Sulfato	mg/l	1.000	171	641,0
Cromo total	mg/l	10	0,05	<0,01
Cromo trivalente	mg/l Cr	10	<0,01	<0,01
Cromo hexavalente	mg/l Cr	1,5	<0,01	<0,01
Nitrogênio amoniacal	mg/l	500	2,8	4,7
Chumbo	mg/l	10	<0,01	<0,01
Cianetos	mg/l Cn	5	0,007	<0,005
Níquel	mg/l Ni	5	0,034	<0,01
Ferro Total	mg/l Fe	-	0,303	0,015
Ferro Dissolvido	mg/l Fe	15	-	-
Fluoretos	mg/l F	10	<0,5	<2
Fenóis	mg/l	5	<0,02	0,5
Sulfeto	mg/l	1	<1	<1
Zinco	mg/l Zn	5	0,267	0,01
Cádmio Total	mg/l	5	-	-
Cobalto Total	mg/l	1	-	-
Cobre Total	mg/l	10	-	-
Estanho Total	mg/l	5	-	-
Mercúrio Total	mg/l	1,5	-	-
Prata Total	mg/l	5	-	-
Selênio Total	mg/l	5	-	-
Arsênio Total	mg/l	3	-	-
Boro Total	mg/l	5	-	-

Parâmetros	Unidade	Limites COPASA Norma técnica 187/2	Fevereiro/2009		Março/2009	
			Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	-	entre 6 e 10	7	7,43	8,17	8,76
Temperatura	°C	Inferior 40	25	23	24	26
DBO	mg/l	-	1705	1236	1445	729
DQO	mg/l	-	5463	3923	5110	3931
Detergentes	mg/l	5	7,59	10,33	15	4,56
Óleos e graxas	mg/l	150	38	6	53	27
Sólidos suspensos	mg/l	-	365	29	280	<2
Sólidos sedimentáveis	ml/l	20	0,6	<0,3	<0,3	<0,3
Alumínio	mg/l	3	1,2	32,4	10,1	1,1
Bário	mg/l	5	0,045	0,026	0,019	<0,01
Sulfato	mg/l	1.000	591	432,0	212	373,0
Cromo total	mg/l	10	0,038	<0,01	0,042	<0,01
Cromo trivalente	mg/l Cr	10	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cromo hexavalente	mg/l Cr	1,5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrogênio amoniacal	mg/l	500	16	15	17	17
Chumbo	mg/l	10	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cianetos	mg/l Cn	5	<0,005	<0,005	<0,1	<0,1
Níquel	mg/l Ni	5	0,016	<0,01	<0,01	<0,01
Ferro Total	mg/l Fe	-	0,338	0,024	0,182	0,024
Ferro Dissolvido	mg/l Fe	15	-	-	-	-
Fluoretos	mg/l F	10	<2	<1	<0,5	<2
Fenóis	mg/l	5	0,7	0,5	0,3	0,4
Sulfeto	mg/l	1	<1	<1	<1	<1
Zinco	mg/l Zn	5	0,114	0,037	0,257	0,024
Cádmio Total	mg/l	5	-	-	-	-
Cobalto Total	mg/l	1	-	-	-	-
Cobre Total	mg/l	10	-	-	-	-
Estanho Total	mg/l	5	-	-	-	-
Mercúrio Total	mg/l	1,5	-	-	-	-
Prata Total	mg/l	5	-	-	-	-
Selênio Total	mg/l	5	-	-	-	-
Arsênio Total	mg/l	3	-	-	-	-
Boro Total	mg/l	5	-	-	-	-

Parâmetros	Unidade	Limites COPASA Norma técnica 187/2	Abril/2009		Maio/2009	
			Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	-	entre 6 e 10	7,04	7,05	9,05	7,18
Temperatura	°C	Inferior 40	24	24	24	25
DBO	mg/l	-	1347	717	1359	667
DQO	mg/l	-	11224	2499	5818	3220
Detergentes	mg/l	5	20,44	1,55	11,65	3,88
Óleos e graxas	mg/l	150	931	29	79	5
Sólidos suspensos	mg/l	-	14970	66	274	24
Sólidos sedimentáveis	ml/l	20	778	<0,3	0,7	<0,3
Alumínio	mg/l	3	1019	0,834	2,8	0,662
Bário	mg/l	5	1,3	0,024	0,091	<0,01
Sulfato	mg/l	1.000	188	1004,0	33,5	660,0
Cromo total	mg/l	10	7,0	0,019	0,216	0,073
Cromo trivalente	mg/l Cr	10	7,0	<0,01	<0,01	<0,01
Cromo hexavalente	mg/l Cr	1,5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Nitrogênio amoniacal	mg/l	500	31	1,4	2,5	6,3
Chumbo	mg/l	10	1,8	<0,01	0,019	<0,01
Cianetos	mg/l Cn	5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Níquel	mg/l Ni	5	0,663	<0,01	0,058	0,012
Ferro Total	mg/l Fe	-	70,7	<0,01	1,5	0,097
Ferro Dissolvido	mg/l Fe	15	-	-	-	-
Fluoretos	mg/l F	10	<1	<2	1,4	2,1
Fenóis	mg/l	5	<0,02	0,9	1,1	0,6
Sulfeto	mg/l	1	<1	<1	<1	<1
Zinco	mg/l Zn	5	15	0,024	0,432	0,176
Cádmio Total	mg/l	5	-	-	-	-
Cobalto Total	mg/l	1	-	-	-	-
Cobre Total	mg/l	10	-	-	-	-
Estanho Total	mg/l	5	-	-	-	-
Mercúrio Total	mg/l	1,5	-	-	-	-
Prata Total	mg/l	5	-	-	-	-
Selênio Total	mg/l	5	-	-	-	-
Arsênio Total	mg/l	3	-	-	-	-
Boro Total	mg/l	5	-	-	-	-

Parâmetros	Unidade	Limites COPASA Norma técnica 187/2	Junho/2009		Julho/2009	
			Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	-	entre 6 e 10	7,42	7,29	9,51	7,59
Temperatura	°C	Inferior 40	22	22	22	21
DBO	mg/l	-	1148	1726	5240	2609
DQO	mg/l	-	4230	6038	8938	5671
Detergentes	mg/l	5	16,4	7,12	12,6	5,10
Óleos e graxas	mg/l	150	105	4	38	64
Sólidos suspensos	mg/l	-	274	9	178	33
Sólidos sedimentáveis	ml/l	20	<0,3	<0,3	4,7	<0,3
Alumínio	mg/l	3	14,4	1,2	4,6	3,2
Bário	mg/l	5	0,282	0,470	0,586	0,043
Sulfato	mg/l	1.000	11,3	1450,0	12,4	496,0
Cromo total	mg/l	10	1,2	0,175	0,085	0,342
Cromo trivalente	mg/l Cr	10	1,1	0,16	<0,01	0,34
Cromo hexavalente	mg/l Cr	1,5	0,07	0,02	0,22	< 0,01
Nitrogênio amoniacal	mg/l	500	3,7	7,1	0,84	6,4
Chumbo	mg/l	10	0,035	<0,01	0,094	<0,01
Cianetos	mg/l Cn	5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Níquel	mg/l Ni	5	0,017	<0,01	0,189	0,048
Ferro Total	mg/l Fe	-	3	0,023	105	0,121
Ferro Dissolvido	mg/l Fe	15	-	-	-	-
Fluoretos	mg/l F	10	1,0	<0,2	1,2	<2
Fenóis	mg/l	5	1,3	1	33,9	15
Sulfeto	mg/l	1	<1	<1	<1	<1
Zinco	mg/l Zn	5	0,951	0,048	3,2	0,851
Cádmio Total	mg/l	5	-	-	-	-
Cobalto Total	mg/l	1	-	-	-	-
Cobre Total	mg/l	10	-	-	-	-
Estanho Total	mg/l	5	-	-	-	-
Mercurio Total	mg/l	1,5	-	-	-	-
Prata Total	mg/l	5	-	-	-	-
Selênio Total	mg/l	5	-	-	-	-
Arsênio Total	mg/l	3	-	-	-	-
Boro Total	mg/l	5	-	-	-	-

Parâmetros	Unidade	Limites COPASA Norma técnica 187/2	Agosto/2009		Setembro/2009	
			Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	-	entre 6 e 10	8,5	7,32	7,83	7,63
Temperatura	°C	Inferior 40	23	23	23	20
DBO	mg/l	-	3065	2080	2321	769
DQO	mg/l	-	5795	4380	4074	1408
Detergentes	mg/l	5	11,6	5,20	6,9	0,80
Óleos e graxas	mg/l	150	1248	<1	1	1
Sólidos suspensos	mg/l	-	284	50	411	6
Sólidos sedimentáveis	ml/l	20	0,4	<0,03	0,6	<0,3
Alumínio	mg/l	3	1,8	2,4	99,9	0,289
Bário	mg/l	5	0,302	0,015	3,8	0,028
Sulfato	mg/l	1.000	10,8	984,0	10	968,0
Cromo total	mg/l	10	0,213	0,042	6,2	0,055
Cromo trivalente	mg/l Cr	10	0,05	0,04	6,2	0,06
Cromo hexavalente	mg/l Cr	1,5	0,16	<0,01	0,04	<0,01
Nitrogênio amoniacal	mg/l	500	2,1	17	0,99	1,8
Chumbo	mg/l	10	0,04	<0,01	0,605	<0,01
Cianetos	mg/l Cn	5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Níquel	mg/l Ni	5	0,084	0,022	0,308	<0,01
Ferro Total	mg/l Fe	-	1,91	0,046	29,3	0,012
Ferro Dissolvido	mg/l Fe	15	-	-	-	-
Fluoretos	mg/l F	10	0,9	<1	1,4	<1
Fenóis	mg/l	5	2,5	2,5	0,59	2,3
Sulfeto	mg/l	1	<1	<1	<1	<1
Zinco	mg/l Zn	5	0,616	0,019	8	<0,01
Cádmio Total	mg/l	5	-	-	-	-
Cobalto Total	mg/l	1	-	-	-	-
Cobre Total	mg/l	10	-	-	-	-
Estanho Total	mg/l	5	-	-	-	-
Mercúrio Total	mg/l	1,5	-	-	-	-
Prata Total	mg/l	5	-	-	-	-
Selênio Total	mg/l	5	-	-	-	-
Arsênio Total	mg/l	3	-	-	-	-
Boro Total	mg/l	5	-	-	-	-

Parâmetros	Unidade	Limites COPASA Norma técnica 187/2	Outubro/2009		Novembro/2009	
			Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	-	entre 6 e 10	7,49	7,57	7,88	7,55
Temperatura	°C	Inferior 40	22	22	26	24
DBO	mg/l	-	2120	1330	2806	558
DQO	mg/l	-	3603	2208	5487	1041
Detergentes	mg/l	5	10	3,40	9,1	1,9
Óleos e graxas	mg/l	150	4	< 1	70	1
Sólidos suspensos	mg/l	-	230	< 2	377	<2
Sólidos sedimentáveis	ml/l	20	22	< 0,3	0,3	<0,3
Alumínio	mg/l	3	7,4	0,526	1,0	0,136
Bário	mg/l	5	0,628	0,030	0,069	0,010
Sulfato	mg/l	1.000	10,9	956,0	5,0	271,0
Cromo total	mg/l	10	0,894	0,171	0,124	0,022
Cromo trivalente	mg/l Cr	10	0,89	0,16	0,12	0,02
Cromo hexavalente	mg/l Cr	1,5	<0,01	0,01	< 0,01	< 0,01
Nitrogênio amoniacal	mg/l	500	0,38	6	1,6	3,9
Chumbo	mg/l	10	0,045	< 0,01	0,013	< 0,01
Cianetos	mg/l Cn	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Níquel	mg/l Ni	5	0,063	0,014	0,038	0,012
Ferro Total	mg/l Fe	-	3,9	0,034	1,11	0,037
Ferro Dissolvido	mg/l Fe	15	-	-	-	-
Fluoretos	mg/l F	10	0,7	< 1	1,3	0,3
Fenóis	mg/l	5	< 0,02	1,3	0,82	0,33
Sulfeto	mg/l	1	4,2	< 1	< 1	1,5
Zinco	mg/l Zn	5	1,4	0,521	0,474	0,051
Cádmio Total	mg/l	5	-	-	-	-
Cobalto Total	mg/l	1	-	-	-	-
Cobre Total	mg/l	10	-	-	-	-
Estanho Total	mg/l	5	-	-	-	-
Mercúrio Total	mg/l	1,5	-	-	-	-
Prata Total	mg/l	5	-	-	-	-
Selênio Total	mg/l	5	-	-	-	-
Arsênio Total	mg/l	3	-	-	-	-
Boro Total	mg/l	5	-	-	-	-

Parâmetros	Unidade	Limites COPASA Norma técnica 187/2	Dezembro/2009	
			Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	-	entre 6 e 10	6,9	6,80
Temperatura	°C	Inferior 40	25	25
DBO	mg/l	-	1081	443
DQO	mg/l	-	2768	979
Detergentes	mg/l	5	11,3	1,4
Óleos e graxas	mg/l	150	36	3
Sólidos suspensos	mg/l	-	152	4
Sólidos sedimentáveis	ml/l	20	<0,3	<0,3
Alumínio	mg/l	3	6,5	2,7
Bário	mg/l	5	0,183	0,026
Sulfato	mg/l	1.000	2,9	736,0
Cromo total	mg/l	10	2,3	0,034
Cromo trivalente	mg/l Cr	10	2,3	0,03
Cromo hexavalente	mg/l Cr	1,5	< 0,01	< 0,01
Nitrogênio amoniacal	mg/l	500	3,2	6,1
Chumbo	mg/l	10	0,027	< 0,01
Cianetos	mg/l Cn	5	< 0,1	< 0,1
Níquel	mg/l Ni	5	0,014	< 0,01
Ferro Total	mg/l Fe	-	1,16	< 0,01
Ferro Dissolvido	mg/l Fe	15	-	-
Fluoretos	mg/l F	10	0,8	1,1
Fenóis	mg/l	5	30	0,4
Sulfeto	mg/l	1	< 1	< 1
Zinco	mg/l Zn	5	0,498	0,106
Cádmio Total	mg/l	5	-	-
Cobalto Total	mg/l	1	-	-
Cobre Total	mg/l	10	-	-
Estanho Total	mg/l	5	-	-
Mercúrio Total	mg/l	1,5	-	-
Prata Total	mg/l	5	-	-
Selênio Total	mg/l	5	-	-
Arsênio Total	mg/l	3	-	-
Boro Total	mg/l	5	-	-

Parâmetros	Unidade	Limites COPASA Norma técnica 187/2	Janeiro/2010		Fevereiro/2010	
			Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	-	entre 6 e 10	-	-	-	-
Temperatura	°C	Inferior 40	26	26	26	26
DBO	mg/l	-	3888,3	2058	25265,7	1654
DQO	mg/l	-	6098,0	4495	49110,0	2549
Detergentes	mg/l	5	10,7	1,6	108,5	3,14
Óleos e graxas	mg/l	150	82	2	30	3
Sólidos suspensos	mg/l	-	237	22	43	90
Sólidos sedimentáveis	ml/l	20	0,82	<0,3	2,1	<0,3
Alumínio	mg/l	3	3,1	6,2	3,98	2,4
Bário	mg/l	5	0,0995	0	0,248	0
Sulfato	mg/l	1.000	9,3	840	Não coletado	Não coletado
Cromo total	mg/l	10	0,332	0,103	0,3	0,114
Cromo trivalente	mg/l Cr	10	0,33	< 0,01	0,27	0,11
Cromo hexavalente	mg/l Cr	1,5	<0,01	0,1	< 0,01	<0,01
Nitrogênio amoniacal	mg/l	500	17	16	2,7	18
Chumbo	mg/l	10	0,0108	< 0,01	0,0278	<0,01
Cianetos	mg/l Cn	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	<0,1
Níquel	mg/l Ni	5	0,0151	0,014	0,0503	0,014
Ferro Total	mg/l Fe	-	< 0,01	0,0554	2,41	0,0245
Ferro Dissolvido	mg/l Fe	15	< 0,01	< 0,01	0,54	<0,01
Fluoretos	mg/l F	10	< 0,5	< 1	2,1	< 2
Fenóis	mg/l	5	0,24	1,3	0,02	0,65
Sulfeto	mg/l	1	< 1	< 1	< 1	< 1
Zinco	mg/l Zn	5	0,646	0,617	1,076	0,139
Cádmio Total	mg/l	5	0,151	0,109	0,751	0,059
Cobalto Total	mg/l	1	0,0096	0,009	0,0511	< 0,005
Cobre Total	mg/l	10	0,738	0,511	2,356	0,193
Estanho Total	mg/l	5	< 0,01	< 0,01	< 10	< 0,01
Mercurio Total	mg/l	1,5	< 0,00015	<0,00006	< 0,015	0,00007
Prata Total	mg/l	5	<0,005	<0,005	< 0,005	<0,005
Selênio Total	mg/l	5	<0,008	<0,008	<0,008	< 0,008
Arsênio Total	mg/l	3	< 0,01	< 0,01	< 0,01	<0,01
Boro Total	mg/l	5	0,852	0,809	0,000589	0,765

Parâmetros	Unidade	Limites COPASA Norma técnica 187/2	Março/2010		Abril/2010	
			Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	-	entre 6 e 10	8,2	7,30	7,1	7,4
Temperatura	°C	Inferior 40	-	27	-	26
DBO	mg/l	-	1068	1103	2460	714
DQO	mg/l	-	1141	1510	2870	1068
Detergentes	mg/l	5	8,63	2,61	1,20	3,54
Óleos e graxas	mg/l	150	67	< 1	25	6
Sólidos suspensos	mg/l	-	236	8	371	
Sólidos sedimentáveis	ml/l	20	1,8	< 0,3	0,4	< 0,3
Alumínio	mg/l	3	-	0,545	-	1,2
Bário	mg/l	5	-	0,015	-	< 0,01
Sulfato	mg/l	1.000	< 5	560	< 5	
Cromo total	mg/l	10	0,16	< 0,01	0,17	< 0,01
Cromo trivalente	mg/l Cr	10	0,16	< 0,01	0,14	< 0,01
Cromo hexavalente	mg/l Cr	1,5	< 0,01	< 0,01	0,03	< 0,01
Nitrogênio amoniacal	mg/l	500	-	0,21	-	22
Chumbo	mg/l	10	-	< 0,01	-	< 0,01
Cianetos	mg/l Cn	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Níquel	mg/l Ni	5	0,021	< 0,01	0,015	< 0,01
Ferro Total	mg/l Fe	-	2,07	0,0515	-	126
Ferro Dissolvido	mg/l Fe	15	-	< 0,01	2,5	0,449
Fluoretos	mg/l F	10	< 0,5	< 0,1	< 0,5	0,3
Fenóis	mg/l	5	-	0,08	-	0,35
Sulfeto	mg/l	1	-	< 1	-	1
Zinco	mg/l Zn	5	0,357	0,024	-	0,014
Cádmio Total	mg/l	5	-	0,001	-	< 0,001
Cobalto Total	mg/l	1	-	< 0,005	-	< 0,005
Cobre Total	mg/l	10	-	0,28	-	< 0,005
Estanho Total	mg/l	5	-	< 0,01	-	0,033
Mercurio Total	mg/l	1,5	-	< 0,00006	-	< 0,00006
Prata Total	mg/l	5	-	< 0,005	-	< 0,005
Selênio Total	mg/l	5	-	< 0,008	-	< 0,008
Arsênio Total	mg/l	3	-	< 0,01	-	< 0,01
Boro Total	mg/l	5	-	0,317	-	0,785

Parâmetros	Unidade	Limites COPASA Norma técnica 187/2	Maio/2010		Junho/2010	
			Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	-	entre 6 e 10	7,4	8,1	7,5	7,2
Temperatura	°C	Inferior 40	-	25	-	19
DBO	mg/l	-	1240	601	3630	1208
DQO	mg/l	-	1730	1160	4020	1903
Detergentes	mg/l	5	17,1	1,63	20	1,27
Óleos e graxas	mg/l	150	53	13	5	3
Sólidos suspensos	mg/l	-	172	Não Detectado	200	18
Sólidos sedimentáveis	ml/l	20	5	0,1	0,4	<0,3
Alumínio	mg/l	3	14,614	7,321	-	0,632
Bário	mg/l	5	0,174	Não Detectado	-	<0,01
Sulfato	mg/l	1.000	0,82	3,59	< 5	71
Cromo total	mg/l	10	0,267	Não Detectado	0,25	< 0,01
Cromo trivalente	mg/l Cr	10	-	Não Detectado	0,25	< 0,01
Cromo hexavalente	mg/l Cr	1,5	0,79	Não Detectado	< 0,01	< 0,01
Nitrogênio amoniacal	mg/l	500	-	18,2	-	-
Chumbo	mg/l	10	0,023	Não Detectado	-	< 0,01
Cianetos	mg/l Cn	5	0,112	Não Detectado	-	< 0,1
Níquel	mg/l Ni	5	0,031	Não Detectado	0,024	0,01
Ferro Total	mg/l Fe	-	2,177	0,074	1,8	0,219
Ferro Dissolvido	mg/l Fe	15	2,78	0,074	-	0,169
Fluoretos	mg/l F	10	0,285	0,662	2,4	0,2
Fenóis	mg/l	5	Não Detectado	0,128	-	0,10
Sulfeto	mg/l	1	0,167	Não Detectado	-	< 1
Zinco	mg/l Zn	5	0,38	Não Detectado	0,513	0,063
Cádmio Total	mg/l	5	-	Não Detectado	-	0,007
Cobalto Total	mg/l	1	-	Não Detectado	-	< 0,005
Cobre Total	mg/l	10	-	0,01	-	0,008
Estanho Total	mg/l	5	-	Não Detectado	-	< 0,01
Mercurio Total	mg/l	1,5	-	Não Detectado	-	< 0,00006
Prata Total	mg/l	5	-	Não Detectado	-	< 0,005
Selênio Total	mg/l	5	-	Não Detectado	-	< 0,008
Arsênio Total	mg/l	3	-	Não Detectado	-	< 0,01
Boro Total	mg/l	5	0,601	0,734	-	0,745

Parâmetros	Unidade	Limites COPASA Norma técnica 187/2	Julho/2010		Agosto/2010	
			Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	-	entre 6 e 10	7,2	8,9	7,3	7,8
Temperatura	°C	Inferior 40	-	19,4	-	19,7
DBO	mg/l	-	-	566	-	255
DQO	mg/l	-	878	973	3710	1839
Detergentes	mg/l	5	8,1	0,56	6,5	1,44
Óleos e graxas	mg/l	150	134	32	9,7	4,5
Sólidos suspensos	mg/l	-	156	5	121	Não detectado
Sólidos sedimentáveis	ml/l	20	0,4	0,1	0,3	Não detectado
Alumínio	mg/l	3	-	0,251	-	0,887
Bário	mg/l	5	-	Não Detectado	-	Não detectado
Sulfato	mg/l	1.000	1473	63	217,41	113,49
Cromo total	mg/l	10	Não Detectado	Não Detectado	2,027	0,154
Cromo trivalente	mg/l Cr	10	Não Detectado	Não Detectado	1,747	0,094
Cromo hexavalente	mg/l Cr	1,5	Não Detectado	Não Detectado	0,28	0,06
Nitrogênio amoniacal	mg/l	500	-	1,15	-	0,62
Chumbo	mg/l	10	-	0,702	-	Não detectado
Cianetos	mg/l Cn	5	-	Não Detectado	0,195	Não detectado
Níquel	mg/l Ni	5	Não Detectado	Não Detectado	0,019	0,12
Ferro Total	mg/l Fe	-	Não Detectado	Não Detectado	1,428	0,108
Ferro Dissolvido	mg/l Fe	15	-	Não Detectado	-	0,056
Fluoretos	mg/l F	10	1,68	0,73	2,178	0,296
Fenóis	mg/l	5	-	0,133	-	0,633
Sulfeto	mg/l	1	-	0,034	-	0,062
Zinco	mg/l Zn	5	0,516	Não Detectado	0,8	0,16
Cádmio Total	mg/l	5	-	0,044	-	0,011
Cobalto Total	mg/l	1	-	Não Detectado	-	0,006
Cobre Total	mg/l	10	-	Não Detectado	-	0,02
Estanho Total	mg/l	5	-	Não Detectado	-	Não detectado
Mercurio Total	mg/l	1,5	-	Não Detectado	-	Não detectado
Prata Total	mg/l	5	-	Não Detectado	-	Não detectado
Selênio Total	mg/l	5	-	Não Detectado	-	Não detectado
Arsênio Total	mg/l	3	-	Não Detectado	-	Não detectado
Boro Total	mg/l	5	-	0,494	-	0,673

Parâmetros	Unidade	Limites COPASA Norma técnica 187/2	Setembro/2010		Outubro/2010	
			Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	-	entre 6 e 10	7,5	6,12	7,16	7,65
Temperatura	°C	Inferior 40	-	20,6	-	28,04
DBO	mg/l	-	-	390	-	234
DQO	mg/l	-	1772	1239	884	587
Detergentes	mg/l	5	40,86	16,93	1,665	1,23
Óleos e graxas	mg/l	150	321,3	28,3	42,6	19,4
Sólidos suspensos	mg/l	-	210	37	209	2,5
Sólidos sedimentáveis	ml/l	20	0,3	0,1	1,00	Não Detectado
Alumínio	mg/l	3	-	2,569	-	0,681
Bário	mg/l	5	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Sulfato	mg/l	1.000	Não Detectado	148,47	43,83	47,74
Cromo total	mg/l	10	2,614	0,022	0,576	Não Detectado
Cromo trivalente	mg/l Cr	10	0,214	0,022	0,576	Não Detectado
Cromo hexavalente	mg/l Cr	1,5	2,4	0,2	Não Detectado	Não Detectado
Nitrogênio amoniacal	mg/l	500	-	1,89	-	Não Detectado
Chumbo	mg/l	10	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Cianetos	mg/l Cn	5	0,01	0,009	0,021	0,020
Níquel	mg/l Ni	5	0,026	0,013	0,022	Não Detectado
Ferro Total	mg/l Fe	-	1,212	0,09	3,568	0,124
Ferro Dissolvido	mg/l Fe	15	-	0,081	-	Não Detectado
Fluoretos	mg/l F	10	0,516	Não Detectado	0,249	4,559
Fenóis	mg/l	5	-	0,364	-	0,104
Sulfeto	mg/l	1	-	0,19	-	0,046
Zinco	mg/l Zn	5	0,376	0,016	0,703	0,044
Cádmio Total	mg/l	5	-	0,017	-	0,0044
Cobalto Total	mg/l	1	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Cobre Total	mg/l	10	-	0,061	-	0,009
Estanho Total	mg/l	5	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Mercúrio Total	mg/l	1,5	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Prata Total	mg/l	5	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Selênio Total	mg/l	5	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Arsênio Total	mg/l	3	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Boro Total	mg/l	5	-	0,907	-	0,188

Parâmetros	Unidade	Limites COPASA Norma técnica 187/2	Novembro/2010		Dezembro/2010	
			Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)	Bruto (montante ETE)	Tratado (jusante ETE)
pH	-	entre 6 e 10	7,2	6,96	6,70	6,50
Temperatura	°C	Inferior 40	-	23,46	-	25,26
DBO	mg/l	-	-	209	-	88,22
DQO	mg/l	-	904	594	855	483
Detergentes	mg/l	5	2,98	0,81	2,543	0,66
Óleos e graxas	mg/l	150	98	25,4	58,5	31,6
Sólidos suspensos	mg/l	-	21	5	282,0	2
Sólidos sedimentáveis	ml/l	20	0,30	Não Detectado	2,00	0,20
Alumínio	mg/l	3	-	0,795	-	0,726
Bário	mg/l	5	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Sulfato	mg/l	1.000	1,63	44,38	Não Detectado	51,81
Cromo total	mg/l	10	0,485	0,02	0,456	Não Detectado
Cromo trivalente	mg/l Cr	10	0,485	0,02	0,456	Não Detectado
Cromo hexavalente	mg/l Cr	1,5	Não Detectado	Não Detectado	Não Detectado	Não Detectado
Nitrogênio amoniacal	mg/l	500	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Chumbo	mg/l	10	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Cianetos	mg/l Cn	5	0,103	Não Detectado	Não Detectado	0,009
Níquel	mg/l Ni	5	0,014	Não Detectado	0,026	Não Detectado
Ferro Total	mg/l Fe	-	1,699	0,158	3,304	0,106
Ferro Dissolvido	mg/l Fe	15	-	0,059	-	Não Detectado
Fluoretos	mg/l F	10	0,15	Não Detectado	0,116	Não Detectado
Fenóis	mg/l	5	-	Não Detectado	-	0,0244
Sulfeto	mg/l	1	-	0,011	-	0,014
Zinco	mg/l Zn	5	0,436	0,252	0,503	Não Detectado
Cádmio Total	mg/l	5	-	0,034	-	Não Detectado
Cobalto Total	mg/l	1	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Cobre Total	mg/l	10	-	0,022	-	Não Detectado
Estanho Total	mg/l	5	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Mercúrio Total	mg/l	1,5	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Prata Total	mg/l	5	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Selênio Total	mg/l	5	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Arsênio Total	mg/l	3	-	Não Detectado	-	Não Detectado
Boro Total	mg/l	5	-	0,167	-	0,121

## **ANEXO III**

**Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico – FISPQ - do BG 62®**



## Especificações Técnicas Desinfetante para uso geral

### DESCRIÇÃO

BG-82 é um produto de alto poder de ação bactericida, fabricado e controlado de acordo com os requisitos da norma AMS-1478.

BG-82 é de alta eficiência na desinfecção de superfícies, equipamentos, reservatórios e ambientes reservados, como toaletes das aeronaves de transporte de passageiros e carga. Sua ação é rápida em ambientes fechados ou abertos, absorvendo os odores indesejáveis, além de proporcionar um aroma suave e agradável no ambiente.

Ação bactericida comprovada em laboratório contra *Salmonella Choleraesuis*, *Staphylococcus Aureus*, *Vibrio Cholerae Inaba* e *Ogawa*.

### APLICAÇÕES

BG-82 é amplamente recomendado para o uso em toaletes de: aviões, locomotivas, ônibus, fábricas, navios e banheiros químicos.

### INSTRUÇÕES DE USO

Preparar a solução aquosa a 2% de BG-82, diluindo 2 (duas) partes de BG-82 em 98 (noventa e oito) partes de água. Sua ação bactericida ocorrerá em 10 minutos.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Aspecto Físico	Líquido
Cor	Azul
Odor	Tutti-fruti, Copesin
pH	6,6 a 7,3 (20 °C, 50 gr)
Peso Específico	1,000 g/ml
Densidade	1,000 g/cm <sup>3</sup> (20 °C) Método: DIN 51757
Toxidez	Testes realizados no flanco depilado de coelho revelaram que o produto é severamente irritante quando aplicado puro
Corrosão	Negativa
Turbidez	Cristalino
Solubilidade em água / Miscibilidade	Totalmente Solúvel (> 20 °C)
Viscosidade	CF a 20°C
Ponto de fusão	Cerca -6 °C
Validade	24 Meses
Produto Registrado na ANVISA	Nº 3.02081.0007

### INFORMAÇÕES DE SEGURANÇA

**CONSERVE FORA DO ALCANCE DAS CRIANÇAS E DOS ANIMAIS DOMÉSTICOS.** Não ingerir. Em caso de ingestão acidental, não provoque vômitos e procure socorro médico, levando a embalagem do produto. Em caso de inalação ou aspiração, remova a pessoa para local arejado, e, se houver sinais de intoxicação, chame socorro médico. Em caso de contato com a pele, lave imediatamente com água em abundância. Se ocorrer irritação, procure socorro médico, levando a embalagem ou rótulo do produto. Em caso de contato com os olhos, lave-os imediatamente com água corrente durante 15 minutos, e procure socorro médico, levando a embalagem ou rótulo do produto. **IMPORTANTE:** Em caso de intoxicação, contate o CEATOX – Hospital das Clínicas - 0800-148110.

Usar EPIs sempre que for manipular ou aplicar qualquer produto químico.

### COMPOSIÇÃO

Cloreto de Alquil Dimetil Benzil Amônio, Nonil Fenol Etoxiado, Atenuador de Espuma, Fragrância, Corante e Veículo qsp.

### EMBALAGENS

BG-82 é comercializado em embalagens de 100 ml, 1 litro, 5, 20 e 50 kg.

Rev 1208.04m



**FISPQ - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos**

**1. IDENTIFICAÇÃO DO PRODUTO E DA EMPRESA**

**Nome do Produto:** BG-62  
**Característica:** Desinfetante para uso geral  
**Aplicação:** Germicida Bactericida de alta eficiência na desinfecção de superfícies, toaletes e QTUs.

**Fabricante:** Prudemplast Química Industrial Ltda.  
**Endereço:** Av. José Moisés Ferreira, 800  
**Fone:** (18) 2101-8989  
**E-mail:** prudemplast@prudemplast.com.br

**Telefones de Emergência:** 0800-118270 – Pró Química – ABIQUIM – 24h/dia  
0800-0148110 - CEATOX - Hospital das Clínicas  
193 – Bombeiros

**2. COMPOSIÇÃO E INFORMAÇÕES SOBRE OS INGREDIENTES**

**Tipo de Produto:** Composto  
**Composição:** Cloreto de Alquil Dimetil Benzil Amônio, Nonil Fenol Etoxilado, Atenuador de Espuma, Fragrância; Corante; Veículo qsp.  
**Componente Ativo:** Cloreto de Alquil Dimetil Benzil Amônio

**3. IDENTIFICAÇÃO DOS PERIGOS**

Ingerido, leva ao mal estar.  
Pode provocar queimaduras graves, caso ocorra contato com olhos e mucosas.  
Em grande concentração, torna-se tóxico para os organismos aquáticos.

**4. MEDIDAS DE PRIMEIROS SOCORROS**

**Recomendações em geral:** Tirar roupas sujas ou embebidas com o produto.

**Em caso de contato com a pele:** Lavar imediatamente com água e sabão o local atingido.  
Se ocorrer irritação, procure socorro médico, levando a embalagem ou rótulo do produto.

**Em caso de contato com os olhos:** Lavar imediatamente com muita água, durante 15 minutos, erguendo as pálpebras, e procurar um médico, levando a embalagem ou rótulo do produto.

**Em caso de ingestão:** Não provocar vômitos, e procurar socorro médico, levando a embalagem do produto.

**Em caso de aspiração ou inalação:** Remova a pessoa para local arejado e, se houver sinais de intoxicação, chame socorro médico.

**5. MEDIDAS DE COMBATE A INCÊNDIO**

**Não inflamável. Não Combustível. Não se incendia.**

**6. MEDIDAS DE CONTROLE PARA DERRAMAMENTO OU VAZAMENTO**

**Medidas de segurança para proteção às pessoas:** Usar Equipamento de Proteção Individual adequado.



## FISPQ - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos

**Medidas de proteção ao meio ambiente:** Não permitir que atinja a canalização ou linhas de água e esgoto.

**Procedimento de limpeza/recolhimento:** Recolher com material ligante a líquido (p. ex. Areia, ligante universal).

### 7. MANUSEIO E ARMAZENAMENTO

**Recomendações para utilização sem perigo:**

Providenciar boa ventilação do recinto.  
Abrir e manusear recipiente com cuidado.

**Recomendações para prevenir incêndio e explosão:**  
Não são necessários procedimentos especiais.

**Exigências para área de armazenagem/recipientes:**

Armazenar ou empilhar sobre paletes, mantendo-o de preferência na embalagem de transporte até a sua utilização. Se necessário a troca de embalagem, evitar utilizar recipientes de aço.

**Informações adicionais para condições de armazenagem:**

Mantém recipiente hermeticamente fechado e conservar em um local fresco e bem ventilado.  
Sensível a congelamento: Caso o produto fique congelado, turvo ou denso por ação do frio, deve ser descongelado lentamente à temperatura ambiente e misturado por curto tempo. Após, o produto é novamente utilizável.  
Conservar apenas no recipiente original a uma temperatura não acima de 50 °C.

### 8. CONTROLE DE EXPOSIÇÃO E PROTEÇÃO INDIVIDUAL

**Medidas de proteção em geral:** Evitar contato com a pele.  
Evitar contato com os olhos.

**Proteção respiratória:** Proteção respiratória em caso de exaustão insuficiente ou em demorada exposição.

**Proteção das mãos:** Luvas de Borracha

**Proteção dos olhos:** Óculos de proteção hermeticamente fechados

**Proteção do corpo:** Roupa de proteção

### 9. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Aspecto físico	Líquido, sem sedimentos ou materiais em suspensão
Cor	Azul
Odor	TuB-futi, Copersin
pH	6,6 a 7,3 (20 °C, 50 g/l)
Peso Específico	1,000 g/ml
Densidade	1,000 g/cm <sup>3</sup> (20 °C) Método: DIN 51757
Toxicidade	Testes realizados no fânco depilado de coelho revelaram que o produto é severamente irritante quando aplicado puro
Corrosão	Negativa
Turbidez	Cristalino
Solubilidade em água / miscibilidade	Totalmente Solúvel (> 20 °C)
Viscosidade (dinâmica)	100 - 300 mPa.s (20 °C) Origem: CEFIC/APAG
Temperatura de ebulição	Não ocorre
Temperatura de ignição	Não determinado
Temperatura de auto ignição	Não é auto-ignitivo
Limite inferior de explosividade	Não determinado
Limite superior de explosividade	Não determinado
Pressão de vapor	Não determinado
Ponto de fusão	cerca -5 °C



**FISPQ - Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos**

Coefficiente de distribuição n-octanol/água (log Pow)	não aplicável
Validade	24 Meses
Produto Registrado na ANVISA	Nº 3.02081.0007

**10. ESTABILIDADE E REATIVIDADE**

Decomposição térmica: > 350 °C Método: DTA  
Reações perigosas: Nenhuma reação perigosa conhecida

**11. INFORMAÇÕES TOXICOLÓGICAS**

Toxicidade oral aguda:	DL50 1.500 - 3.800 mg/kg (Ratizana) Método: OECD 401
Efeito de irritação dérmica:	corrosivo (Coelho) Método: OECD 404
Irritante aos olhos:	Risco de danos graves nos olhos Método: OECD 405 Análise de irritação ocular em coelhos, Laboratório Ecolyzer.

**12. INFORMAÇÕES ECOLÓGICAS**

Biodegradabilidade:	>60 % Método: OECD 301 A O produto é, de acordo com os critérios da OECD, facilmente biodegradável (readily biodegradable).
Toxicidade em peixes:	CL50 10 - 100 mg/l (96 h, Barbo riscado) Método: OECD 203
Toxicidade em dáfnias:	CE50 < 1 mg/l (48 h) Método: OECD 202 Origem: CEFIC/APAG
Toxicidade em algas:	CE50 < 1 mg/l (72 h) Método: OECD 201 Origem: CEFIC/APAG
Toxicidade em bactérias:	CE50 10 mg/l Método: OECD 209
Demanda química de oxigênio (DQO):	1.210 mg/g

**13. CONSIDERAÇÕES SOBRE TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO**

Produto:  
Mediante observação das normas da autoridade responsável local, encaminhar a uma instalação de incineração de resíduos especiais.

**14. INFORMAÇÕES PARA TRANSPORTE**

Terrestre:  
Produto químico, hidrossolúvel, desinfetante, neutro, não inflamável.

**15. OUTRAS INFORMAÇÕES**

As informações baseiam-se em nossos conhecimentos atuais. Elas descrevem os nossos produtos com relação a exigências de segurança e não têm o objetivo de assegurar características específicas.