

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

**CULTIVO DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) EM
EFLUENTE DO SISTEMA DE LAGOAS DE
ESTABILIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS DE SAMAMBAIA-DF**

ANDRESA CRISTINA DE ANDRADE

ORIENTADOR: MARCO ANTONIO ALMEIDA DE SOUZA

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

PUBLICAÇÃO: PTARH.DM – 118/08

BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO – 2008

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

**CULTIVO DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) EM
EFLUENTE DO SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO DA
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE SAMAMBAIA-DF**

ANDRESA CRISTINA DE ANDRADE

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

APROVADA POR:

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

Prof^a Ariuska Karla Barbosa Amorim, DSc (ENC-UnB)
(Examinadora Interna)

Prof. Servio Tulio Alves Cassini, PhD (DEA - UFES)
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 15 DE DEZEMBRO 2008.

FICHA CATALOGRÁFICA

ANDRADE, ANDRESA CRISTINA DE

Cultivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em efluente do sistema de lagoas de estabilização da Estação de Tratamento de Esgotos de Samambaia - DF. [Distrito Federal] 2008.

xviii, 182 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2008).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Águas residuárias

2. Reúso de água

3. Piscicultura

4. Tilápia do Nilo

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANDRADE, A. C. de (2008). Cultivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em efluente do sistema de lagoas de estabilização da Estação de Tratamento de Esgotos de Samambaia - DF. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 182 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Andresa Cristina de Andrade

TÍTULO: Cultivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em efluente do Sistema de Lagoas de Estabilização da Estação de Tratamento de Esgotos de Samambaia – DF.

GRAU: Mestre

ANO: 2008

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

Andresa Cristina de Andrade

Quadra 18 lote 09 Setor Leste Comercial, apto: 101

72.460-180 Gama – DF – Brasil.

Aos meus pais, Lázara e Andrade, por terem acreditado desde o começo no meu potencial,
minha eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pela força, coragem, equilíbrio em todos momentos e, principalmente, nas horas mais difíceis (que não foram poucas!).

Ao meu amigo, orientador, mestre e conselheiro Marco Antonio Almeida de Souza que sempre esteve ao meu lado e acima de tudo, acreditou no meu potencial desde o começo.

Ao meu mestre e amigo Mauro Roberto Felizatto por me guiar desde a graduação até a conclusão desse mestrado e foi mais que um co-orientador dessa pesquisa e apenas, por questões burocráticas não consta na capa dessa edição, mas tem papel fundamental na minha vida (pessoal e profissional) além de ser o precursor do reúso de água em piscicultura no Distrito Federal.

Aos demais professores do PTARH, em especial aos professores Sérgio Koide, Ariuska Karla Barbosa Amorim e Cristina Célia Silveira Brandão, pelas contribuições.

À Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) por permitir que usássemos sua estrutura física.

A todos trabalhadores da ETE Samambaia que de alguma forma ajudaram na concretização desse sonho, em especial à: Analta, Moab, Jacinto, Júnior, Franklin, Chicão, Fabrício, Gugu, Gutemberg, Marlene, Edilene, Nilda, Cleide, Dênis, Deliane, Denilson, Josemar, Jacira, Laécio, Aline, Jorge, Lázaro, Claudionor, Kleyton, Mariângela e Marla.

Aos ex-estagiários e agora Engenheiros Ambientais que muito me ajudaram Alda e Pedro.

Aos grandes amigos da turma de 2006 do mestrado: Beatriz, Lorena, Luciano, Eneida, Renan, Ricardo e Raquel por compartilhar comigo todas as angústias vividas nesses dois anos e, também, todas as vitórias conquistadas!

Aos amigos do doutorado: Jolival, Wendy e Orlandina por todos os momentos compartilhados, conselhos e incentivos!

Aos professores Suetônio Mota e Marcos Von Sperling que, mesmo a distância se propuseram a mandar informação e bibliografia colaborando muito com o desenvolvimento desse trabalho.

Ao veterinário Adalmyr Moraes Borges por fornecer o plantel desde o desenvolvimento da outra pesquisa em 2006.

Aos técnicos do Laboratório de Análise de Água (LAA) da Universidade de Brasília Boy e Marcilene.

À professora Ângela Patrícia e aos técnicos do Laboratório de Microbiologia Veterinária da Universidade de Brasília, Nara Rúbia e Hudson Holanda e à mestranda Camila Guimarães pela ajuda e colaboração nas análises microbiológicas na carne dos peixes.

À professora Maria Fernanda do departamento de Biologia da Universidade de Brasília que, por falta de tempo não pode realizar a análise histológica nos peixes, mostrou-se inteiramente interessada e preocupada com o grau de dificuldade dessa pesquisa e foi até à ETE coletar amostras para tais análises.

À minha amiga Bianca Coelho Machado, por ter me dado de herança os “filhinhos”, grandes estrelas da pesquisa e mesmo a distância esteve sempre preocupada com meus resultados, muito obrigada!

Meus pais, irmãos, sobrinhos, cunhadas, avós, tios, tias e a todos da minha família que em suas orações pediam para minha pesquisa dar certo. E deu! Obrigada a todos.

Em especial ao Geórgenis pelo apoio, incentivo e ajuda e por compreender os momentos de ausência, que não foram poucos, muito obrigada!

Às minhas queridas amigas da Graduação Gigi, Kátia e Flávia por escutarem minhas queixas e reclamações e sempre estarem ao meu lado, apoiando e torcendo por um resultado positivo.

Enfim, a todos que, de alguma forma participaram, torceram, acreditaram, incentivaram e quando necessário me deram um puxão de orelha para que eu pudesse alcançar meus objetivos e também, aos que não acreditaram, pois só me fizeram ter mais força para continuar e chegar onde estou hoje! Meus sinceros votos de agradecimento.

“É inconcebível que o Criador tenha colocado seres tão diversos sobre a Terra, cada um tão admirável em seu meio, tão perfeito em seu papel, somente para permitir ao Homem, sua obra prima, destruí-los para sempre” (Shakespeare).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 GERAL	3
2.2 ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 REÚSO DE ÁGUA	4
3.1.1 Conceito e tipos de reúso.....	4
3.1.2 Vantagens e desvantagens do reúso controlado e potenciais riscos à saúde	5
3.2 PADRÕES E NORMAS APLICADAS AO REÚSO	8
3.2.1 Padrões segundo o Ministério da Saúde.....	8
3.2.2 Padrões Segundo a <i>World Health Organization (WHO)</i>	9
3.3 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	9
3.3.1 Classificação das lagoas de estabilização.....	10
3.3.1.1 Lagoas Facultativas	10
3.3.1.2 Lagoas Anaeróbias	11
3.3.1.3 Lagoas de Maturação.....	12
3.4 PISCICULTURA.....	13
3.4.1 Sistemas de Produção.....	16
3.4.1.1 Piscicultura extensiva	16
3.4.1.2 Piscicultura Intensiva.....	16
3.4.1.3 Piscicultura Superintensiva	17
3.4.2 Técnicas de fertilização e alimento.....	17
3.4.2.1 Fitoplâncton.....	21
3.4.2.2 Zooplâncton.....	22
3.5 UTILIZAÇÃO DE ESGOTOS SANITÁRIOS NA PISCICULTURA.....	23
3.5.1 Histórico	24
3.5.2 Estudos no Brasil	25
3.5.3 Estudos realizados na ETE Samambaia.....	28
3.6 ESPÉCIE UTILIZADA E EFEITO NA QUALIDADE DA ÁGUA.....	30
3.6.1 Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	30
3.6.2 Monossexo	31

3.6.3 Sem reversão sexual (ambos os sexos)	32
3.6.4 Qualidade da Água na Piscicultura	32
3.6.5 Parâmetros que influenciam no cultivo de peixes com efluentes de lagoas de estabilização	34
3.6.5.1 Nitrogênio Amoniacal	34
3.6.5.2 Potencial Hidrogeniônico (pH).....	39
3.6.5.3 Temperatura.....	39
3.6.5.3.1 Estratificação Térmica.....	40
3.6.5.4 Oxigênio Dissolvido (OD)	41
3.6.5.5 Salinidade e Condutividade.....	42
3.6.5.6 Clorofila-a.....	42
4. MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE SAMAMBAIA	43
4.1.1 Descrição da ETE Samambaia	43
4.1.2 Tratamento Preliminar	44
4.1.3 Sistema Reator de Fluxo Ascendente, acoplado com Lagoa Facultativa	44
4.1.4 Lagoa de Alta Taxa (rasa)	45
4.1.5 Lagoa de Polimento Final (maturação)	46
4.1.6 Polimento Químico	46
4.1.7 Operação e monitoramento da ETE Samambaia.....	48
4.2 CLIMA DA REGIÃO DE ESTUDO	49
4.3 UNIDADE DE PISCICULTURA DE SAMAMBAIA (UPS)	49
4.3.1 Escolha da água de alimentação dos tanques.....	51
4.3.2 Arranjo e terminologia dos tanques piscícolas	52
4.4 ESPÉCIE ESCOLHIDA – TILÁPIA DO NILO	53
4.5 DURAÇÃO DO EXPERIMENTO E DENSIDADE DE ESTOCAGEM	54
4.6 ESTUDOS E TRABALHOS PRELIMINARES	56
4.6.1 Reforma dos tanques	56
4.6.2 Torre de arraste de amônia	58
4.7 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	60
4.7.1 Fase 1 - Remoção de Nitrogênio Amoniacal.....	60
4.7.1.1 Etapa I - Pré-teste (monitoramento da eficiência de redução de NH_4^+ na coluna de arraste de amônia).....	60

4.7.1.2 Etapa II - Comportamento de nitrogênio amoniacal no interior de T1 e T2 sem entrada de esgoto tratado	61
4.7.2 Alimentação em batelada – Fase II.....	62
4.7.3 Cálculo da vazão de alimentação dos tanques de cultivo.....	63
4.8 MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	63
4.9 PROCEDIMENTO DE COLETA DOS PEIXES	65
4.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	66
4.11 PARÂMETROS DE PISCICULTURA.....	70
4.11.1 Análise microbiológica na pele e músculo dos peixes.....	70
4.11.2 Processamento das análises	71
4.11.3 Leitura dos resultados	72
<i>4.11.3.1 Estafilococos coagulase positiva.....</i>	<i>72</i>
<i>4.11.3.2 Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)</i>	<i>73</i>
<i>4.11.3.3 Salmonella sp.....</i>	<i>73</i>
4.11.4 Destino final dos peixes amostrados	74
4.12 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA PARA ANÁLISE DE FITOPLÂNCTON.....	75
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	77
5.1 FASE I – REMOÇÃO DE NITROGÊNIO AMONIACAL	78
5.1.1 Etapa I – Pré-Teste (monitoramento da eficiência de redução de NH₄⁺ na coluna de arraste de amônia).....	78
5.1.2 Etapa II – Comportamento de nitrogênio amoniacal no interior de T1 e T2 sem entrada de esgoto tratado	79
<i>5.1.2.1 Amônio - NH₄⁺</i>	<i>80</i>
<i>5.1.2.2 Amônia Livre - NH₃</i>	<i>81</i>
5.1.3 Parâmetros de qualidade da água monitorados na Etapa II da Fase I para T1 e T2 sem entrada de esgoto tratado nesses tanques e em T3 alimentação com água potável e ração	83
<i>5.1.3.1 Condutividade Elétrica</i>	<i>83</i>
<i>5.1.3.3 pH.....</i>	<i>85</i>
<i>5.1.3.4 Oxigênio Dissolvido</i>	<i>86</i>
<i>5.1.3.5 Temperatura.....</i>	<i>87</i>
5.2 FASE 2 - ALIMENTAÇÃO EM BATELADA	88

5.3 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS OBTIDOS NA FASE II.....	91
5.3.1 Alcalinidade.....	92
5.3.2 Potencial Hidrogeniônico – pH.....	94
5.3.3 Condutividade Elétrica	96
5.3.4 Transparência	97
5.3.5 Sólidos em Suspensão Totais (SST).....	99
5.3.6 Clorofila-a	101
5.3.7 Temperatura	103
5.3.8 Oxigênio Dissolvido	105
5.3.9 Nitrogênio.....	107
5.3.10 Ortofosfato	111
5.3.11 Matéria Orgânica (DBO e DQO).....	113
5.3.12 Coliformes Totais e <i>E. Coli</i>	118
5.4 PARÂMETROS DE PISCICULTURA.....	121
5.4.1 Biometria Final	121
5.4.2 Sobrevivência da Tilápia.....	122
5.4.3 Qualidade sanitária da carne dos peixes	123
5.5 FITOPLÂNCTON.....	126
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	128
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
APÊNDICE A	141
APÊNDICE B.....	148
APÊNDICE C	153
APÊNDICE D	176
APÊNDICE E.....	179

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Formas de reúso de água praticadas no mundo (Machado, 2006 modificado). .	4
Tabela 3.2: Perigo, grupos de risco e metas de saúde de interesse para avaliação e gerenciamento de risco em piscicultura com a utilização de esgotos sanitários (Adaptado de WHO, 2006 e Bastos e Bevilacqua, 2006).	6
Tabela 3.3: Caracterização de efluentes com vistas a utilização em irrigação e piscicultura (Bastos <i>et al.</i> , 2003 ^a modificado).	7
Tabela 3.4: Valor máximo admissível de <i>Estafilococos coagulase positiva</i> , <i>Salmonella sp.</i> e Coliformes Termotolerantes para amostras de pescado e itens de pesca de acordo com a RDC nº12/2001 da ANVISA.....	8
Tabela 3.5: Critério preliminar de qualidade microbiológica para reúso em aquicultura	9
Tabela 4.1: Dados de vazão, (média mensal) de novembro de 2007 a abril de 2008.	44
Tabela 4.2: Dados operacionais da ETE Samambaia de novembro de 2007 a abril de 2008 (n=27).	49
Tabela 4.3: Arranjo dos tanques piscícolas.	52
Tabela 4.4: Principais Considerações a Respeito do Cultivo de Tilápia em Lagoas, Viveiros e Campos de Arroz (Bocek, 1996 ^c).	55
Tabela 4.5: Critérios utilizados para dimensionamento do sistema de arraste de amônia. .	59
Tabela 4.6: Equipamentos e métodos de análise utilizados em amostras de água.	64
Tabela 4.7: Equipamentos e métodos de análise realizados em amostras de peixes.....	66
Tabela 5.1: Eficiência de remoção (%) do sistema de arraste de amônia para NH ₄ ⁺ (n=8).....	78
Tabela 5.2: Valores de amônio (mg/L) afluyente e nos tanques T1 e T2 (n =21).....	80
Tabela 5.3: Amônia livre (NH ₃) em mg/L nos tanques piscícolas abastecidos com esgoto tratado da lagoa de polimento final da ETE Samambaia.....	82
Tabela 5.4: Resultados de condutividade (µS/cm) dos tanques de cultivo (n=21).	83
Tabela 5.5: Valores de Transparência (cm) medidos no interior dos tanques piscícolas (n=21).	84
Tabela 5.6: Resultado de pH afluyente no interior dos tanques de piscicultura (n = 22).....	85
Tabela 5.7: Valores médios diários de oxigênio dissolvido (mg/L) no interior dos Tanques 1, 2 e 3 (n = 19).	86
Tabela 5.8: Valores médios diários de temperatura (°C) no interior de T1, T2 e T3 (n=21).....	88

Tabela 5.9: Parâmetros analisados nos tanques de cultivo abastecidos com água potável da CAESB, antes da entrada de esgoto em T1 e T2.....	89
Tabela 5.10: Valores utilizados nos cálculos da vazão de alimentação e da lâmina usada no vertedor (médios, máximo, mínimo e desvio padrão) (n=99).....	90
Tabela 5.11: Concentrações de alcalinidade total (mg/L de CaCO ₃) monitorados em amostras afluentes e no interior dos tanques piscícolas.....	92
Tabela 5.12: Curtose e assimetria da alcalinidade total (mg/L CaCO ₃) nas amostras de T1 e T2.....	93
Tabela 5.13: Resultado do Teste de Mann-Whitney para alcalinidade total (mg/L CaCO ₃) em T1 e T2.....	93
Tabela 5.14: Valores de pH no afluente e no interior dos tanques piscícolas.....	94
Tabela 5.15: Curtose e assimetria pH nas amostras de T1 e T2.....	95
Tabela 5.16: Resultado do Teste de Mann-Whitney para pH em T1 e T2.....	95
Tabela 5.17: Valores de condutividade (µS/cm) no interior dos tanques.....	96
Tabela 5.18: Curtose e Assimetria para condutividade elétrica (µS/cm).....	97
Tabela 5.19: Teste <i>t</i> Student para condutividade elétrica (µS/cm).....	97
Tabela 5.20: Transparência (cm) no interior dos tanques piscícolas (n = 66).....	98
Tabela 5.21: Curtose e assimetria para transparência (cm) nos tanques 1 e 2.....	99
Tabela 5.22: Resultado do teste de Mann-Whitney para transparência (cm) para T1 e T2.....	99
Tabela 5.23: Concentração de sólidos em suspensão totais em amostra afluente e no interior dos tanques piscícolas (mg/L).....	100
Tabela 5.24: Curtose e assimetria dos Tanques 1 e 2 para Sólidos Suspensos Totais (mg/L).....	101
Tabela 5.25: Resultado do teste <i>t</i> Student para Sólidos Suspensos Totais (mg/L).....	101
Tabela 5.26: Concentração de Clorofila-a (µg/L) em amostras afluente no interior dos tanques piscícolas.....	101
Tabela 5.27: Curtose e assimetria dos Tanques 1 e 2 para Clorofila-a (µg/L).....	102
Tabela 5.28: Resultado do teste <i>t</i> Student para Clorofila-a (µg/L).....	103
Tabela 5.29: Dados de temperatura (°C) diária no interior dos tanques de cultivo.....	103
Tabela 5.30: Valores de curtose e assimetria para temperatura diária (°C) em T1 e T2... ..	104
Tabela 5.31: Resultado do teste de Mann-Whitney para temperatura (°C) em T1 e T2....	104
Tabela 5.32: Estatística descritiva dos valores de OD (mg/L) no interior dos tanques de cultivo (n=29).....	105

Tabela 5.33: Curtose e assimetria de OD (mg/L) nos tanques 1 e 2.	106
Tabela 5.34: Resultado do teste <i>t</i> de Student para variável OD (mg/L) em T1 e T2.	107
Tabela 5.35: Valores de NH ₃ , NH ₄ ⁺ , NO _x e NTK (mg/L) em amostras do afluente e no interior dos tanques piscícolas.	107
Tabela 5.36: Curtose e assimetria para valores de nitrogênio (mg/L) em amostras do afluente e no interior dos tanques de cultivo.	110
Tabela 5.37: Resultado do teste de Mann-Whitney para amônia livre (mg/L) em T1 e T2.	111
Tabela 5.38: Valores do teste <i>t</i> de Student para as variáveis (mg/L) que tiveram distribuição normal.	111
Tabela 5.39: Valores de ortofosfato (mg/L) afluente e no interior dos tanques de cultivo.	112
Tabela 5.40: Curtose e assimetria para ortofosfato (mg/L) no interior dos tanques de cultivo.	113
Tabela 5.41: Resultado do teste de Mann-Whitney para ortofosfato (mg/L).	113
Tabela 5.42: Valores de matéria orgânica (mg/L) encontrados em amostra do afluente e nos tanques de cultivo.	114
Tabela 5.43: Curtose e assimetria para matéria orgânica (mg/L) em amostras dos tanques 1 e 2.	116
Tabela 5.44: Resultado do teste <i>t</i> de Student para matéria orgânica (mg/L) nos tanques 1 e 2.	116
Tabela 5.45: Teste de Mann-Whitney para DQO (mg/L) nos tanques 1 e 2.	116
Tabela 5.46: Relação DQO/DBO da amostra do afluente e dos tanques de cultivo.	117
Tabela 5.47: Valores de <i>E. Coli</i> e Coliformes Totais (Log) em amostra afluente e no interior dos tanques (n=14).	119
Tabela 5.48: Curtose e assimetria nos valores de Coliformes Totais e Termotolerantes em amostras dos tanques 1 e 2.	120
Tabela 5.49: Resultado do teste <i>t</i> de Student para coliformes nos tanques 1 e 2.	120
Tabela 5.50: Dados biométricos dos peixes cultivados em T2 e T3 para análise microbiológica no Laboratório de Microbiologia Integrada da UnB.	124
Tabela 5.51: Dados biométricos dos peixes cultivados em T2 e T3 para análise microbiológica no Laboratório Central de Saúde Pública do Distrito Federal (LACEN-DF).	125
Tabela 5.52: Fitoplâncton inventariado.	126

Tabela A1: Valores de amônia total (mg/L) afluyente e nos tanques 1 e 2 (n=21).....	142
Tabela A2: Amônia livre (NH ₃) em mg/L nos tanques 1 e 2 (n _{T1} =19 e n _{T2} =20).....	143
Tabela A3: Resultados de condutividade (μS/cm) dos tanques de cultivo (n=21).....	144
Tabela A4: Valores de transparência (cm) nos tanques de piscicultura (n=21).....	145
Tabela A5: Resultado de pH dos tanques de piscicultura (n = 22).....	146
Tabela A6: Valores médios diários de oxigênio dissolvido (mg/L ⁻¹) e Temperatura (°C) para os T1, T2 e T3 (N = 19).....	147
Tabela B1: Controle e operação da vazão nos tanques 1 e 2.....	149
Tabela B1 (cont): Controle e operação da vazão nos tanques 1 e 2.....	150
Tabela B1 (cont): Controle e operação da vazão nos tanques 1 e 2.....	151
Tabela B1 (cont): Controle e operação da vazão nos tanques 1 e 2.....	152
Tabela C1: Valores de alcalinidade (mg/L) monitorados afluyente e no interior dos tanques piscícolas (n=30).....	154
Tabela C2: Valores de pH monitorados no interior dos tanques de cultivo (n=79).....	155
Tabela C2 (continuação): Valores de pH nos tanques de cultivo (n=79).....	156
Tabela C3: Valores de condutividade (μS/cm) no interior dos tanques (n=33).....	157
Tabela C4: Transparência (cm) nos tanques de cultivo (n = 66).....	158
Tabela C4 (cont.): Transparência (cm) nos tanques de cultivo (n = 66).....	159
Tabela C5: Clorofila-a (μg/L) afluyente e no interior dos tanques de cultivo (n =12).....	160
Tabela C6: Sólidos em Suspensão (mg/L) afluyente aos tanques e no interior dos tanques de cultivo (n=17).....	161
Tabela C7: Temperatura média diária (°C) nos tanques de cultivo (n=141).....	162
Tabela C8: Oxigênio Dissolvido (mg/L) nos tanques de piscicultura (n=29).....	163
Tabela C9: Valores de amônia livre (NH ₃) (mg/L) no interior dos tanques de cultivo (n=79).....	164
Tabela C9 (cont):Valores de amônia livre (NH ₃) (mg/L) no interior dos tanques de cultivo (n=79).....	165
Tabela C10: Valores de amônio (mg/L) afluyente e no interior dos tanques de cultivo (n _{AFL} =65,n _{tanques} =76).....	166
C10 (cont.): Valores de amônio (mg/L) afluyente e no interior dos tanques de cultivo.....	167
Tabela C11: Valores de NO _x (mg/L) encontrado nas amostras (n _{AFL} =5, n _{1,2} =7, n ₃ =6).....	168

Tabela C12: Valores de NTK (mg/L) afluyente filtrado e no interior dos tanques de cultivo (n=53).....	169
Tabela C12 (continuação): Valores de NTK (mg/L) em amostras do afluyente filtrado e nos tanques de cultivo (n=53).....	170
Tabela C13: Valores de ortofosfato (mg/L) afluyente e no interior dos tanques de cultivo.....	171
Tabela C14: Valores de DBO (mg/L) em amostra afluyente e nos tanques de cultivo (n=12).....	172
Tabela C15: Valores de DQO (mg/L) afluyente e no interior dos tanques de cultivo.....	173
Tabela C16: Valores de <i>E.Coli</i> (NMP/100 ml) em amostras do afluyente e no interior de T1, T2 e T3 (n=14).....	174
Tabela C17: Valores de Coliformes Totais (NMP/100 ml) em amostra afluyente e no interior de T1, T2 e T3 (n=14).....	175
Tabela D1: Biometria final nos peixes cultivados no T2 (n=65).....	177
Tabela D1(cont): Biometria final nos peixes cultivados no T2 (n=65).....	178

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Sistemas de aquicultura direta e indireta utilizando excreta, esgotos ou compostos (CNRH, 2003).....	18
Figura 3.2: Sistema de fertilização indireta sugerida para implementação no Brasil (CNRH, 2003).....	19
Figura 3.3: Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) (World Fish Center, 2007).....	31
Figura 4.1: Fluxograma de Processo do Sistema Integrado de Lagoas de Estabilização em Série da ETE Samambaia, sem o polimento químico (Felizatto <i>et al.</i> , 2008).....	47
Figura 4.2: Fluxograma de Processo do Polimento Final Química da ETE Samambaia (Felizatto <i>et al.</i> , 2008).	48
Figura 4.3: Vista da Unidade de Piscicultura de Samambaia (UPS) (Machado, 2006).	50
Figura 4.4: Croqui da saída do tipo monge dos tanques das UPS vista em corte, sem escala (Felizatto, 2000).	51
Figura 4.5: Desenho esquemático da estação piloto de Samambaia (unidade em metro)...	53
Figura 4.6: Reforma do tanque T1 - (A) limpeza manual do tanque com sucção por caminhão limpa-fossa, (B) tanque limpo, pronto para retirada da lona.	57
Figura 4.7: Reforma do tanque T2 - (A) esvaziamento do tanque para limpeza, (B) tanque limpo começando a retirada da lona para reforma.	57
Figura 4.8: Vista geral do sistema de bandejas aeradas instalado na UPS.....	59
Figura 4.9: Esquema representativo do gráfico <i>Box-plot</i> (Andrade, 2005).....	66
Figura 4.10: Fluxograma de atividades estatísticas utilizadas (Felizatto, 2000).....	67
Figura 4.11: Procedimento de coleta para análise, (A) Início do corte rente a coluna dorsal do peixe e (B) Final do corte para recolhimento (pele + músculo).	71
Figura 4.12: Sistema utilizado para aquisição de imagens em microscopia.	76
Figura 5.1: Concentração de amônio afluente e efluente (mg/L) do sistema de remoção de amônia, monitorados na Etapa I – pré-teste.	79
Figura 5.2: Concentrações de Amônio (NH_4^+) (mg/L) em amostra afluente e no interior dos tanques.....	80
Figura 5.3: Concentrações de amônia não ionizada (NH_3) (mg/L) em T1.....	82
Figura 5.4: Concentrações de amônia não ionizada (NH_3) (mg/L) em T2.....	82

Figura 5.5: <i>Box-plot</i> de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) em amostra do afluente e no interior dos tanques piscícolas.	84
Figura 5.6: <i>Box-plot</i> de Transparência (cm) no interior dos tanques.	85
Figura 5.7: <i>Box-plot</i> de pH em amostra afluente e no interior dos tanques piscícolas.....	86
Figura 5.8: <i>Box-plot</i> das concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) no interior dos tanques.....	87
Figura 5.9: <i>Box-plot</i> de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) no interior de T1, T2 e T3.	88
Figura 5.10: Vazão (m^3/dia) de entrada em cada tanque de cultivo (T1 e T2) com efluente da lagoa de polimento final da ETE Samambaia.....	90
Figura 5.11: Concentração da Taxa de Aplicação de Nitrogênio (Kg/ha/dia) aplicada em cada tanque (T1 e T2).	91
Figura 5.12: <i>Box-plot</i> de alcalinidade total (mg/L de CaCO_3) em amostra do afluente e no interior dos tanques.....	92
Figura 5.13: <i>Box-plot</i> de pH em amostras do afluente e no interior dos tanques piscícolas.	94
Figura 5.14: <i>Box-plot</i> de condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no interior dos tanques de cultivo.	96
Figura 5.15: <i>Box-plot</i> de transparência (cm) no interior dos tanques piscícolas.	98
Figura 5.16: <i>Box-plot</i> de Sólidos em Suspensão Totais (mg/L) em amostra afluente e no interior dos tanques piscícolas.	100
Figura 5.17: <i>Box-plot</i> de Clorofila-a ($\mu\text{g}/\text{L}$) amostra do afluente e no interior de T1 e T2.....	102
Figura 5.18: <i>Box-plot</i> de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) média diária no interior dos tanques piscícolas.	104
Figura 5.19: <i>Box-plot</i> das concentrações de OD (mg/L) no interior dos tanques de piscicultura.	106
Figura 5.20: <i>Box-plot</i> das concentrações calculadas de amônia livre (NH_3) (mg/L) no interior dos tanques de cultivo.....	108
Figura 5.21: <i>Box-plot</i> das concentrações de amônio (mg/L) em amostra do afluente e no interior dos tanques piscícolas.....	109
Figura 5.22: <i>Box-plot</i> das concentrações de NO_x (mg/L) em amostra do afluente e no interior dos tanques.....	109
Figura 5.23: <i>Box-plot</i> das concentrações de NTK (mg/L) afluente e no interior dos tanques.	110

Figura 5.24: <i>Box-plot</i> das concentrações de ortofosfato (mg/L) encontrados em amostra e no interior dos tanques piscícolas.....	112
Figura 5.25: <i>Box-plot</i> das concentrações de DBO (mg/L) afluyente e no interior dos tanques.	114
Figura 5.26: <i>Box-plot</i> das concentrações de DQO (mg/L) em amostras do afluyente e no interior dos tanques.....	115
Figura 5.27: <i>Box-plot</i> da relação DQO/DBO encontrada em amostra do afluyente e no interior dos tanques de cultivo.....	118
Figura 5.28: <i>Box-plot</i> de <i>E. Coli</i> (Log) em amostra do afluyente e no interior dos tanques piscícolas.	119
Figura 5.29: <i>Box-plot</i> de Coliformes Totais (Log) em amostra do afluyente e no interior dos tanques piscícolas.	120
Figura 5.30: (A) T2 ainda cheio com esgoto tratado no início da coleta dos peixes e esvaziamento do tanque (B) T2 quase vazio onde foi feito o arraste com rede para retirada dos peixes que estavam no fundo do tanque.	122
Figura 5.31: Fêmeas em período de reprodução, com ovos incubados na boca, retirada do T2.	123
Figura 5.32: <i>Planktothrix sp</i> encontrado em amostras da lagoa de polimento e no interior dos tanques piscícolas: (A) Aumento de 200x e (B) Aumento de 400x.....	127

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

APHA.....	American Public Health Association
CAESB.....	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CAGECE.....	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CNRH.....	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CODEVASF...Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba	
CONAMA.....	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DI.....	Distrito Industrial
ETE.....	Estação de Tratamento de Esgoto
FAD.....	Flotação por Ar Dissolvido
FAO.....	Food and Agriculture Organization
FINEP.....	Financiadora de Estudos e Projetos
IBAMA.....	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
LM.....	Lagoa de Maturação
NMP/100 ml.....	Número mais provável por 100 ml de amostra
OMS.....	Organização Mundial de Saúde
ONU.....	Organização das Nações Unidas
PROSAB.....	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
SABESP.....	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
TAN.....	Taxa de Aplicação de Nitrogênio
UFC/g.....	Unidade Formadora de Colônia por grama
UPS.....	Unidade de Piscicultura da ETE Samambaia
USEPA.....	United States Environmental Protection Agency
WHO.....	World Health Organization
µc.....	Micrômetro
µg.....	Micrograma

RESUMO

CULTIVO DE TILÁPIA DO NILO (*Oreochromis niloticus*) EM EFLUENTE DO SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE SAMAMBAIA-DF

A utilização de esgotos sanitários pode oferecer oportunidades de natureza econômica, ambiental e social. Com base nisso, o objetivo desta pesquisa foi buscar formas de viabilizar a criação e a produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com emprego de esgotos sanitários tratados por sistema de lagoas de estabilização, nas condições atuais da ETE Samambaia – DF, para que se pudesse ter um índice de mortalidade inferior ao observado em pesquisas anteriores realizadas no local. A pesquisa foi desenvolvida na Unidade de Piscicultura de Samambaia (UPS) e foi dividida em duas fases, sendo que a primeira teve o objetivo de tentar reduzir a concentração de amônia (que estava muito alta, em torno de 32 mg/L) em um sistema de torre de arraste de amônia construído e instalado na unidade e operado em sistema de alimentação contínua. Como a remoção média foi cerca de 19% optou-se em fechar a entrada de esgoto tratado dos tanques (T1 e T2) e monitorar o comportamento da amônia no interior desses tanques. Observou-se uma queda significativa, a partir do 14º dia atingindo em T2 valores abaixo do reportado por Buras (1997) que é de 8 mg/L por tal fato resolveu colocar 300 peixes previamente pesados e medidos nesse tanque, entretanto, devido a uma combinação de fatores (baixo OD, alto pH e elevada amônia) observou-se mortalidade de 100% dos exemplares alocados. Com isso, foi necessário reformular a metodologia dando início à fase II onde os tanques abastecidos com esgoto foram cheios com água potável e alimentados diariamente em sistema de batelada a fim de tentar manter nos tanques a taxa proposta por Mara *et al.* (1993) de 4 Kg NT/ha.dia. Os parâmetros monitorados foram: NTK (mg/L), NH_4^+ (mg/L), NH_3 (mg/L), NO_x (mg/L), PO_4 (mg/L), SST (mg/L), Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$), Temperatura ($^\circ\text{C}$), Oxigênio Dissolvido (mg/L), pH, Alcalinidade (mg CaCO_3/L), Condutividade ($\mu\text{S/cm}$), Coliformes Totais e Termotolerantes (NMP/100 ml), DBO (mg/L) e DQO (mg/L). Ao final do experimento retirou-se 15 peixes do tanque que era abastecido com esgoto e 10 peixes do tanque que era abastecido com água potável e ração, para serem submetidos a análises microbiológicas na carne e pele, conseqüentemente, esvaziou-se T2 para analisar a sobrevivência obtida, pode-se observar 85% de sobrevivência de peixes nesse tanque e as fêmeas estavam em fase de desova, por tal fato os peixes foram transferidos para T1 para que continuassem a reprodução. As análises microbiológicas mostraram que para os parâmetros *Salmonella sp.*, *E. Coli* e *Estafilococos coagulase positiva* os peixes apresentaram condições higiênico-sanitária satisfatória para consumo humano. A taxa média de aplicação de nitrogênio em cada tanque foi de 4,5 Kg NT/ ha.dia, próxima da reportada na literatura com vazão média de alimentação de 3,5 m³/dia.tanque.

ABSTRACT

CULTIVATION OF NILE TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) IN EFFLUENT FROM THE STABILIZATION LAGOON SYSTEM OF THE SAMAMBAIA SEWAGE TREATMENT PLANT IN DF, BRAZIL

The use of sanitary sewage offers opportunities of an economic, environmental and social nature. In view of this fact, the purpose of this study was to find ways to make it feasible to breed and produce Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in effluent from sanitary sewage treated by a stabilization lagoon system, under the current conditions of the Samambaia Sewage Treatment Plant, DF, aiming at a lower mortality rate than that achieved in previous researches conducted at this site. The research was developed at the Samambaia Pisciculture Unit (SPU) and was divided into two phases, the first aimed at reducing ammonia (which was very high, at around 32 mg/L) in an ammonia entrainment tower system built and installed at the unit and operating through a continuous feed system. Because the average removal was about 19%, it was decided to close the entrance of treated sewage of the tanks (T1 and T2) and monitor the behavior of ammonia inside the tanks. A significant drop was observed starting from day 14 in T2, with values below that reported by Buras (1997), which was 8 mg/L. Therefore, it was decided to place 300 fish, previously weighed and measured, in tank T2, but due to a combination of factors (low DO, high pH and high ammonia), the mortality rate of the specimens placed in T2 was 100%. This fact called for a reformulation of the methodology, giving rise to phase II, in which the tanks containing treated sewage effluent were filled with potable water and batch-fed daily in order to keep them at the rate proposed by Mara *et al.* (1993), i.e., 4 Kg NT/ha.day. The monitored parameters were: NTK (mg/L), NH_4^+ (mg/L), NH_3 (mg/L), NO_x (mg/L), PO_4 (mg/L), SST (mg/L), Chlorophyll-a ($\mu\text{g/L}$), Temperature ($^\circ\text{C}$), Dissolved Oxygen (mg/L), pH, Alkalinity (mg CaCO_3/L), Conductivity ($\mu\text{S/cm}$), Total and Thermotolerant Coliforms (NMP/100 ml), BOD (mg/L) and COD (mg/L). At the end of the experiment, 15 fish were removed from T1 containing treated sewage effluent and 10 fish from T2 containing potable water and fish food. The flesh and skin of these specimens were subjected to microbiological analyses, after which T2 was emptied to determine the survival rate. The fish in T2 showed an 85% survival rate and the females were in the spawning phase, so they were transferred to T1 to continue reproduction. The microbiological analyses indicated that, in terms of the parameters of *Salmonella sp.*, *E. coli* and coagulase-positive *Staphylococcus*, the fish presented satisfactory hygienic and sanitary conditions for human consumption. The average nitrogen application rate in each tank was 4.5 Kg NT/ ha.day, which was similar to that reported in the literature, with an average feed flow of 3.5 $\text{m}^3/\text{day.tank}$.

1. INTRODUÇÃO

Em decorrência ao acelerado crescimento populacional mundial, e do conjunto de atividades humanas, cada vez mais diversificadas, nota-se um aumento expressivo na demanda hídrica, levando diversos países a situações contínuas de escassez (Fernandes, 2005). Atualmente mais de 100 milhões de pessoas na América Latina e no Caribe carece de saneamento adequado, afetando a saúde e o bem estar dessas populações (ONU, 2008).

À medida em que diversas cidades brasileiras passam dificuldades em manter de forma estável e com qualidade o abastecimento de água de suas populações, o desenvolvimento de novos modelos de saneamento se impõe estrategicamente na busca de uma sociedade auto-sustentável. Soluções que preservam a quantidade e a qualidade da água passam necessariamente por uma revisão do uso da água nas residências, tendo como meta a redução do consumo de água potável e, concomitantemente, da produção de águas residuárias.

Uma alternativa que se tem apontado para o enfrentamento do problema é o *reúso de água*, importante instrumento de gestão ambiental. Contudo, esse reúso não pode acontecer de forma indiscriminada, visto que muitas doenças estão relacionadas com o consumo ou contato com água não tratada.

Observa-se que, nos países em desenvolvimento, o objetivo central do tratamento de águas residuárias deve ser a remoção de helmintos, protozoários, bactérias e vírus patogênicos, para evitar doenças endêmicas de veiculação hídrica. Já nos países desenvolvidos, pelo fato de não se observar casos de parasitismo humano, o principal objetivo é a remoção de matéria orgânica e de nutrientes. Nota-se que a opção de tratamento mais simples e adequada para se conseguir índices de patógenos zero são as lagoas de estabilização, quando concebidas para tal.

Esses sistemas de tecnologia simples, no qual não há necessidade de equipamentos e energia convencional, é adequado aos países em desenvolvimento, sendo o motivo que a constitui como primeira opção, caso haja uma área disponível e suficiente, com pouco valor comercial, ou quando o próprio gestor do saneamento é o proprietário das terras (Felizatto, 2000).

Uma das maneiras exequíveis da exploração das proteínas existentes nos efluentes de lagoas de estabilização é o cultivo de peixes fitoplanctófagos. Dessa forma, seria possível a utilização da energia química armazenada nas algas, através do consumo da carne dos peixes. Evidentemente, na medida em que o peixe consome as algas contidas nas águas, pode-se ter uma melhora na qualidade ambiental do efluente (Felizatto, 2000).

Desse modo, os efluentes tratados em lagoas de estabilização, quando usados na aquicultura, tornam-se uma fonte rica de nutrientes, permitindo alimento de baixo custo e diminuição de impactos nos cursos d'água, mediante a redução do lançamento de cargas de nutrientes.

A tilápia do Nilo é um dos peixes mais cultivado no mundo e, atualmente, o mais utilizado em pesquisas com reúso de água, pelo fato de ser uma espécie altamente resistente a meios adversos, possuir crescimento rápido, se comparado com outras espécies, alta prolificidade e ainda parece apresentar grande habilidade em filtrar partículas de plâncton.

Vale ressaltar que um problema encontrado para o desenvolvimento do reúso de água em piscicultura é a qualidade do efluente utilizado, sendo muitas vezes fator limitante para a sobrevivência da espécie utilizada. Por isso, na presente pesquisa utilizou-se espécie não revertida sexualmente, para tentar verificar o potencial de reprodução da tilápia do Nilo em condições adversas e, conseqüentemente, produzir um lote de peixes já adaptados a viver no esgoto tratado.

De acordo com o que foi exposto, o presente trabalho almejou buscar alternativas de adequar o efluente da ETE Samambaia ao processo de reúso em piscicultura, utilizando espécies de tilápia do Nilo sem reversão sexual e, também, um pré-tratamento para redução de amônia e sólidos em suspensão, com o intuito de reduzir os altos índices de mortalidade observados em trabalhos anteriores.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

A presente pesquisa objetivou estudar formas de viabilizar a criação e a produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), nas condições atuais da ETE Samambaia – DF, visando o reúso de água em piscicultura e, simultaneamente, verificando se há melhoria da qualidade do efluente tratado pelo processo de reúso de água com o cultivo dessa espécie de peixe.

2.2 ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- 2.1.1. Estudar formas de acondicionamento do efluente da ETE Samambaia para que se torne adequado ao reúso de água em piscicultura;
- 2.1.2. Verificar a sobrevivência de Tilápia, sem reversão sexual e possível adaptação dessa espécie às condições de reúso de água;
- 2.1.3. Analisar a qualidade do efluente do reúso em piscicultura e compará-lo com o da piscicultura tradicional; e
- 2.1.4. Examinar a qualidade do pescado produzido com reúso de água tendo em vista a possibilidade de consumo humano.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 REÚSO DE ÁGUA

3.1.1 Conceito e tipos de reúso

De acordo com Souza (2007) existem três condicionantes básicas para que algum tipo de utilização de águas residuárias possa ser enquadrado como reúso de água. Essas condicionantes são: (a) o reúso de água deve ser intencional, não vale esconder que esteja se praticando o reúso, pois é esgoto tratado; (b) o reúso tem que ser planejado, pensado com antecedência e com cuidado, não podendo haver conflitos, riscos ambientais e riscos a saúde pública; e, por fim, (c) tem que ser continuamente controlado e monitorado em todas as fases de seu processo, desde a produção de águas residuárias, passando pelo seu tratamento até sua utilização final.

Felizatto (2000), Mancuso e Santos (2003) e Machado (2006) reportam que, apesar da demanda crescente por água potável, deve-se planejar de maneira sensata a utilização de águas residuárias, evitando assim, riscos à saúde da população. O reúso não-potável está se tornando a prática mais comum de reúso planejado de água. A Tabela 3.1 relata as principais formas de reúso praticadas no mundo.

Tabela 3.1: Formas de reúso de água praticadas no mundo (Machado, 2006 modificado).

Tipos de Reúso	Prática/Uso
Irrigação paisagística	Parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de auto-estrada, campus universitários, cinturões verdes, gramados residenciais.
Irrigação de campos para cultivos	Plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, proteção contra geadas.
Usos industriais	Refrigeração, alimentação de caldeiras, lavagem de gases, águas de processamento.
Recarga de aquíferos	Recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha, controle de recalques de solos
Represamento	Represas ornamentais, fins recreacionais e desportivos (navegação, pesca, esportes aquáticos, etc.)
Finalidades Ambientais	Aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, indústrias de pesca.

Tabela 3.1(continuação): Formas de reúso de água praticadas no mundo
(Machado, 2006 modificado).

Tipos de Reúso	Prática/Uso
Usos urbanos não potáveis	Irrigação paisagística, combate ao fogo, descarga de vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas e pontos de ônibus.
Reúso potável	Misturando nos reservatórios de abastecimento de água ou suprimindo diretamente o abastecimento de água.
Aqüicultura	Aqüicultura (uso de águas residuárias recuperadas para alimentação de tanques destinados à produção de peixes e/ou outros organismos aquáticos).
Outros	Fabricação de neve, construção, controles de poeira, dessedentação de animais.

3.1.2 Vantagens e desvantagens do reúso controlado e potenciais riscos à saúde

A utilização controlada¹ de esgotos sanitários apresenta diversas vantagens, conforme abordado por Bastos *et al.* (2003^a), dentre elas cita-se:

1. Constitui uma prática de reciclagem de água, proporcionando alívio na demanda e preservação de oferta de água para outros usos. Neste caso em particular, vale ressaltar que no Brasil, como em todo o mundo, a agricultura irrigada corresponde a cerca de 60 até 80% do consumo total de água;
2. Constitui uma prática de reciclagem de nutrientes, proporcionando economia significativa de insumos, por exemplo, fertilizantes e ração animal;
3. Favorece o aumento da produção de alimentos, a recuperação de áreas improdutivas e a ampliação de áreas irrigadas;
4. Contribui para a preservação e a proteção do meio ambiente ao: (a) minimizar o lançamento de esgotos em cursos de águas naturais, prevenindo a poluição, a contaminação e a eutrofização; (b) promover a conservação do solo e a recuperação de áreas degradadas;
5. Auxilia na amenização do clima, na melhoria das condições estéticas e na ampliação de áreas de lazer em zonas urbanas, ao propiciar a irrigação e fertilização de “zonas verdes” tais como: parques públicos, jardins, campos para práticas desportivas, canteiros e arborização de logradouros.

¹ Por utilização controlada entende-se o uso dos esgotos sanitários de maneira segura do ponto de vista sanitário, sustentável e ambiental, e otimizado do ponto de vista de produção.

Os esgotos sanitários podem conter os mais variados organismos patogênicos e em densidades elevadas. Portanto, não restam dúvidas sobre a possibilidade de transmissão de patógenos em qualquer modalidade de reúso da água, colocando em risco diferentes grupos populacionais (Bastos e Bevilacqua, 2006).

Dessa forma, no ano de 2006, em relação ao reúso de água para produção agrícola a Organização Mundial da Saúde (OMS) alterou as diretrizes, incluindo a piscicultura, com o intuito de conter as evidências epidemiológicas da transmissão de doenças, conforme é apresentado na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Perigo, grupos de risco e metas de saúde de interesse para avaliação e gerenciamento de risco em piscicultura com a utilização de esgotos sanitários (Adaptado de WHO, 2006 e Bastos e Bevilacqua, 2006).

Perigo	Grupo de Risco	Meta de Saúde
Organismos patogênicos de origem fecal	Risco do consumidor ⁽¹⁾	≤ 10 ⁶ nível de risco ⁽⁴⁾
	Risco do trabalhador/ocupacional ⁽²⁾	
	Risco da população vizinha ⁽³⁾	
Trematóides	Risco do consumidor	Ausência de infecções
Esquistossomose		
Irritações de pele e doenças dérmicas	Risco do trabalhador/ocupacional	Ausência de doenças
Doenças relacionadas à vetores	Risco da população vizinha	

(1) incluindo os consumidores e as pessoas envolvidas na comercialização e no processamento do produto. (2) trabalhadores em contato direto com a água de cultivo dos peixes. (3) relacionado à população que habita ou circula por áreas vizinhas, bem como as áreas onde se pratica a irrigação com esgotos. (4) Carga tolerável.

Pode-se notar pela Tabela 3.2, que, para aplicação de reúso de água em piscicultura, deve-se ter um monitoramento do efluente extremamente rigoroso quanto ao controle de microrganismos microbiológicos evitando, assim, doenças e contaminação de pessoas que manipulam e/ou consomem o produto.

Em relação à diversidade na composição do esgoto sanitário, faz-se necessária uma caracterização detalhada do esgoto para verificar a possibilidade de sua aplicação na irrigação e piscicultura, visto que estão diretamente ligados à saúde pública, pois a população pode vir a se alimentar de culturas irrigadas e/ou cultivadas com esgoto tratado. Na Tabela 3.3 são apresentados dados de caracterização de parâmetros importantes para irrigação e,

principalmente, para piscicultura, comparando diferentes sistemas de tratamento em relação às características do esgoto bruto.

Tabela 3.3: Caracterização de efluentes com vistas a utilização em irrigação e piscicultura (Bastos *et al.*, 2003^a modificado).

Parâmetro	Esgoto Bruto ¹	Efluente Primário ²	Efluente Filtro Biológico ²	Efluente Anaeróbio ³	Efluente Lagoa de polimento ⁴
pH	7	6,8	6,6	6,8-7,3	7,4-9,52
ST (mg/L)	700-1.110	-	-	851	-
SF (mg/L)	500-700	-	-	624	-
SV (mg/L)	200-300	-	-	227	-
SST (mg/L)	200-400	90	32	20-69	36,2-156,3
SSV (mg/L)	150-300	-	-	28	14
SSF (mg/L)	60-120	-	-	4	13
SDT (mg/L)	500-700	660	646	-	-
DBO (mg/L)	350-400	195	82	58-104	10-74
DQO (mg/L)	500-700	400	212	96-271	48-246
N-org (mg/L)	15-30	28,2	16,8	9,4-31,4	2,5-6,2
NH ₃ (mg/L)	20-40	18,7	16	14,8-48,7	3-30
NO ₂ (mg/L)	≈ 0	-	-	0,05-0,12	0,04-3,3
NO ₃ (mg/L)	≈ 0	0,5	2,10	0,20-3,40	0,09-3,7
Ntotal (mg/L)	35-70	47,4	34,9	-	5,6-43,2
Condutiv. (ds/m)	1-2	1,3	1,4	0,9-2,3	0,50-1,2
Clorofila (µg/L)	-	-	-	-	1.162-3.796
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	10 ⁶ -10 ⁹	-	-	10 ⁵ -10 ⁸	10-10 ⁵
Ovos de helmintos/L	10-10 ²	-	-	5-20	ND

ND: não detectado.

1. Valores típicos (von Sperling, 1996; Pettygrove e Asano, 1990), acrescentados de dados obtidos no Edital 3, Tema 2 do PROSAB.
2. Valores referentes a um estudo de caso de irrigação com esgotos (Marecos do Monte *et al.*, 1989).
3. Efluentes de reatores UASB e filtros anaeróbios, dados obtidos Edital 3, Tema 2 do PROSAB.
4. Lagoas que recebem efluentes de reatores anaeróbios, Edital 3, Tema 2 do PROSAB.

Por meio da Tabela 3.3 nota-se que, com exceção dos efluentes da lagoa de polimento, ao final de uma série de lagoas, o emprego da maioria dos efluentes seria impróprio para aplicação em piscicultura devido a amônia que é, tóxica à maioria das espécies de peixes. De acordo com Kubitzka (2000) quando se tem valores > 2 mg/L, de amônia, para a espécie tilápia do Nilo, por um período longo de exposição é observada morte em elevado grau dessa espécie. Entretanto, as elevadas concentrações de clorofila nos efluentes, especificamente de lagoas, são um bom indicativo do potencial de nutrientes dos esgotos para o cultivo de peixes.

3.2 PADRÕES E NORMAS APLICADAS AO REÚSO

No Brasil, por ainda estar se iniciando a prática de uso de esgotos tratados em aquicultura, observa-se a necessidade de realizar estudos epidemiológicos para o estabelecimento de padrões de qualidade das águas de alimentação, tanto de sistemas diretos quanto indiretos.

Os padrões e normas aplicados ao reúso de águas ainda são escassos no Brasil. Assim, os projetos e pesquisas desenvolvidos, geralmente, adotam os padrões da Organização Mundial da Saúde (OMS) ou da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) que são definidos para esse tipo de atividade. Contudo, no caso da piscicultura, a USEPA não apresenta padrões a serem seguidos no reúso em piscicultura, adotando padrões para outros usos como irrigação, recarga de aquíferos e usos industriais diversos (Gradwohl, 2006).

3.2.1 Padrões segundo o Ministério da Saúde

Na Tabela 3.4 é apresentado o valor máximo admissível de *Estafilococos coagulase positiva*, *Salmonella sp.* e Coliformes Termotolerantes para amostras de pescado e itens de pesca de acordo com a RDC nº12/2001 da ANVISA.

Tabela 3.4: Valor máximo admissível de *Estafilococos coagulase positiva*, *Salmonella sp.* e Coliformes Termotolerantes para amostras de pescado e itens de pesca de acordo com a RDC nº12/2001 da ANVISA.

Grupo de Alimento	Microrganismo	Tolerância em Amostra	n
a) pescado, ovas de peixes, crustáceos e moluscos cefalópodes "in natura", resfriados ou congelados não consumido cru	<i>Estafilococos coagulase positiva/g</i>	10 ³ /g	5
	<i>Salmonella sp./25g</i>	Ausência	5
b) moluscos bivalves, carne de siri e similares cozidos, temperados e não, industrializados resfriados ou congelados	Coliformes Termotolerantes a 45°C/g	5x10/g	5

Legenda: n = tamanho amostral

Por falta de uma norma específica que regulamente padrões para o cultivo de peixes com uso de esgoto tratado, será usado como base neste estudo para verificar se os peixes apresentam qualidade satisfatória para consumo humano os dados apresentados na Tabela 3.4.

3.2.2 Padrões Segundo a *World Health Organization (WHO)*

Pode-se observar que, os padrões estabelecidos pela WHO são menos restritivos que alguns estabelecidos por países desenvolvidos, sendo baseado em estudo epidemiológico das populações expostas. Com base no conhecimento disponível sobre os riscos à saúde humana associados ao uso de esgotos sanitários em piscicultura, em 1989 a OMS propôs as seguintes diretrizes sanitárias: $\leq 10^3$ Coliformes Termotolerantes/100 mL no tanque de piscicultura, ou $\leq 10^4$ Coliformes Termotolerantes/ 100 mL no afluente ao tanque de piscicultura e ausência de ovos de helmintos (trematóides).

Quanto ao risco da invasão dos músculos dos peixes por bactérias, a OMS (1989) indica que pode acontecer quando a concentração de coliformes termotolerantes for de 10^4 e 10^5 por 100 mL de amostra. Mara e Cairncross (1989) apresentam as diretrizes com relação à qualidade microbiológica no reúso em aquicultura, como apresentado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5: Critério preliminar de qualidade microbiológica para reúso em aquicultura (Mara e Cairncross, 1989, Felizatto, 2000 e Felizatto *et al.*, 2000).

Tipo de processo de reúso	Ovos^a viáveis de Trematódeos (média aritmética do n° de ovos viáveis por L ou Kg)	Coliformes Termotolerantes (média geométrica de NMP por 100 mL ou 10 g)^b
Cultivo de peixes	0	$<10^4$
Cultivo de macrófita aquática	0	$<10^4$

^a Especial atenção deve ser dada aos parasitas de *Clonorchis*, *Fasciolopsis* e *Schistosoma*, principalmente em áreas endêmicas.

^b Assume-se que haverá redução de uma unidade logarítmica de Coliformes Termotolerantes, restando na saída do sistema uma concentração menor que 1000 NMP por 100 mL de amostra.

3.3 LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Conforme reportado por Uehara e Vidal (1989), as lagoas de estabilização podem ser definidas como um corpo de água lântico artificial destinado a armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica tais como: esgoto bruto e sedimentado, despejos industriais orgânicos e oxidáveis ou águas residuárias oxidadas.

Segundo Queiroz (2001), o processo de tratamento de esgotos conhecido geralmente como lagoas de estabilização é um dos mais difundidos no mundo. O processo de lagoas de estabilização, apesar de sua simplicidade, compete com outras técnicas de tratamento, principalmente, em países onde a disponibilidade de área não é um fator limitante. Esse mesmo autor ressalta que, as lagoas de estabilização passaram a ter seu uso limitado em função da presença freqüente e substancial de Sólidos Suspensos (SS) em seus efluentes, os quais podem provocar conseqüências indesejáveis no corpo receptor. Essas conseqüências são: aumento na demanda de oxigênio, ou no caso do reúso de água (direto ou indireto); o surgimento de problemas de cor, odor e sabor na água; interferência na floculação e decantação; obstrução de filtros; floração das águas; fixação às paredes de reservatórios, corrosão e toxicidade. Metcalf & Eddy (1991) também afirmam que os SS, nos efluentes de lagoas de estabilização, incluem algas, microrganismos e sólidos residuais, sendo que essa presença muitas vezes se torna um fator limitante da qualidade dos efluentes de lagoas de estabilização, haja vista que impõe sérias restrições em relação ao potencial de reutilização desses efluentes.

3.3.1 Classificação das lagoas de estabilização

Segundo von Sperling (2002) existem diversas variantes dos sistemas de lagoas de estabilização, com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de área, sendo que os mais usados são: lagoas facultativas, lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas e lagoas de maturação.

3.3.1.1 Lagoas Facultativas

As lagoas facultativas são as variantes mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização. Basicamente, o processo consiste na retenção dos esgotos por um período de tempo longo, sendo o suficiente para que os processos naturais de estabilização da matéria orgânica se desenvolvam. O esgoto afluente entra numa extremidade da lagoa e sai na extremidade oposta. Ao longo desse percurso, que demora vários dias, uma série de mecanismos contribui para a purificação dos esgotos. Esses mecanismos ocorrem nas três zonas das lagoas, denominadas: zona anaeróbia, zona aeróbia e zona facultativa (von Sperling, 2002).

A matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo (zona anaeróbia). Esse lodo sofre o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios, sendo convertida lentamente em gás carbônico, água, metano e outros. Após certo período de tempo, apenas a fração inerte (não biodegradável) permanece na camada de fundo. O gás sulfídrico não causa problemas de mau cheiro, pelo fato de ser oxidado, por processos químicos e bioquímicos, na camada aeróbia superior (von Sperling, 2002).

A matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel), conjuntamente com a matéria orgânica, em suspensão de pequenas dimensões não sedimenta permanecendo dispersa na massa líquida. Na camada mais superficial, encontra-se a zona aeróbia. Nessa zona, a matéria orgânica é oxidada por meio da respiração aeróbia. Há a necessidade da presença de oxigênio, o qual é suprido ao meio pela fotossíntese realizada pelas algas colocando o sistema em perfeito equilíbrio, pois há consumo e produção de oxigênio bem como de gás carbônico (von Sperling, 2002).

3.3.1.2 Lagoas Anaeróbias

As lagoas anaeróbias constituem-se numa forma alternativa de tratamento, em que a existência de condições *estritamente anaeróbias* é essencial. Tal fator é alcançado por meio do lançamento de uma grande carga de DBO por unidade de volume da lagoa, fazendo com que a taxa de consumo de oxigênio seja várias vezes superior à taxa de produção. No balanço de oxigênio, as produções pela fotossíntese e pela reação atmosférica são, neste caso, desprezíveis (von Sperling, 2002).

A conversão da matéria orgânica em condições anaeróbias é lenta, pelo fato das bactérias anaeróbias se reproduzirem numa vagarosa taxa, devido ao fato de que as reações anaeróbias geram menos energia do que as reações aeróbias de estabilização da matéria orgânica. A temperatura do meio tem uma grande influência nas taxas de reprodução da biomassa e conversão do substrato, fazendo com que regiões de clima quente se tornem propícia a este tipo de lagoas (von Sperling, 2002).

3.3.1.3 Lagoas de Maturação

As lagoas de maturação possibilitam um polimento do efluente de qualquer um dos sistemas de lagoas de estabilização ou, em termos mais amplos de qualquer sistema de tratamento de esgotos. O principal objetivo dessas lagoas é a remoção de patógenos e não a remoção adicional de DBO. Constituem-se numa alternativa bastante econômica à desinfecção do efluente por métodos convencionais, como cloração (von Sperling, 2002).

Essas lagoas são dimensionadas de forma a fazer uma utilização ótima de alguns mecanismos, especialmente para a remoção de bactérias e vírus, os quais são representados pelos coliformes como indicadores. Alguns desses mecanismos se tornam mais efetivos com menores profundidades da lagoa, o que justifica o fato das lagoas de maturação serem mais rasas, comparadas aos demais tipos de lagoas. Pode-se citar como mecanismos relacionados à baixa profundidade da lagoa os seguintes aspectos: (a) alta penetração da radiação solar; (b) elevado pH, devido à elevada atividade fotossintética, e (c) elevada concentração de OD, favorecendo uma comunidade aeróbia, mais eficiente na eliminação dos coliformes (von Sperling, 2002).

As lagoas de maturação devem atingir elevadíssimas eficiências na remoção de coliformes ($E > 99,9$ ou $99,99\%$), cujo intuito é cumprir os requisitos para utilização do efluente na irrigação ou em outras atividades afins, bem como nos padrões para corpos d'água, em função da classe a que pertencem (CONAMA nº 357/05).

Com o objetivo de maximizar a eficiência de remoção, as lagoas de maturação são usualmente projetadas nas seguintes configurações: (a) três ou quatro lagoas em série, ou (b) uma lagoa única com chicanas. Em relação aos outros organismos de interesse na saúde pública, porém não tão bem representados pelos coliformes como indicadores, as lagoas usualmente atingem eliminação total (100%) de cistos de protozoários e ovos de helmintos (von Sperling, 2002).

A combinação dessas lagoas, com certeza, resultará num efluente final com melhor qualidade, caso se utilize somente um sistema. Permitindo um efluente, a depender de sua posterior utilização, com concentrações finais de coliformes, por exemplo, admissíveis para lançamento direto no corpo receptor. No caso desta pesquisa, o efluente utilizado é proveniente de um

sistema construído conforme modelo australiano, sendo a lagoa de maturação composta por chicanas, o que possibilita um efluente com concentrações de coliformes termotolerantes inferior a 1000 NMP/ 100 mL, sendo favorável, entre outros aspectos, ao cultivo de peixes.

3.4 PISCICULTURA

A aqüicultura é o processo de produção, em cativeiro, de organismos com hábitat predominantemente aquático, em qualquer estágio de desenvolvimento, que são: ovos, larvas, pós-larvas, juvenis e adultos. Com isso, a aqüicultura moderna deve-se apoiar em três pilares fundamentais: a produção lucrativa, a conservação do meio-ambiente e o desenvolvimento social (Valenti *et al.*, 2000).

Campos (2001) reporta que o termo aqüicultura engloba atividades que vão desde o tradicional gerenciamento extensivo de pescado de água doce, em lagos e reservatórios, até a cultura semi-intensiva e intensiva de organismos aquáticos em pequenos tanques, lagos de água doce e áreas salobras, fazendas marítimas e maricultura.

A piscicultura, por sua vez, refere-se ao cultivo de peixes em condições extensiva, semi-intensiva e intensiva de açudes, reservatórios, viveiros (tanque de terra), tanques de concreto e/ou tanques-rede ou gaiolas em ambientes marinhos (Campos, 2001). Para um melhor entendimento, nesse trabalho piscicultura e aqüicultura serão tratadas como sinônimos.

A piscicultura é uma prática registrada desde a Roma Antiga e, depois de séculos, em função do crescimento demográfico e da demanda por alimentos, apresentou grande expansão na região indo-pacífica, principalmente na China. A partir do século XV desenvolveu-se na Europa Central e Ocidental, e, posteriormente, em todo o mundo. Desde o início do século XX, na América do Norte, depois da 2ª Guerra, na África e, mais recentemente, no Oriente Médio e na América Latina.

Japão, Estados Unidos, União Soviética, China e Peru são os cinco países que respondem pela metade da captura mundial de pescados. A produção pesqueira continental varia bastante nas diversas regiões do planeta, e em alguns países representa até 20% da produção nacional. Em geral, a piscicultura ainda representa pouco da produção pesqueira em águas continentais,

porém, apresenta-se como atividade de crescente interesse, destacando-se os exemplos de Israel e Japão, onde, respectivamente, 100% e 70% da produção pesqueira continental vem de piscicultura (Teixeira Filho, 1991).

Os chineses foram os primeiros a se preocupar com a piscicultura como atividade de interesse zootécnico, sendo os pioneiros no desenvolvimento do monocultivo de carpa comum com adubação orgânica de viveiros e, posteriormente, com o policultivo das carpas conhecidas como “capim”, “prateada”, “cabeça grande” e “negra”. Também na Índia e Paquistão, onde se cultivam, principalmente, as carpas indianas, encontram-se registros de cultivos de peixes desde eras remotas (Proença e Bittencourt, 1994).

Não obstante, a produção de pescado, inclusive de águas interiores e de piscicultura, no Brasil vem crescendo. No período de 1990 a 2001 as capturas pesqueiras sofreram redução de 1,4% (781.150 para 700.000 t), porém, de 2001 a 2002 houve incremento de 4,6%. No mesmo período, o incremento da produção aquícola foi de 924,9% (20.490 para 210.000 t). Em 1990, a produção aquícola correspondia a 2,6% da produção total de pescado, e, em 2001 já alcançava 21,4%. As espécies cultivadas de peixes respondem por 75,3% da produção aquícola nacional, com destaque para carpas, tilápias e tambaquis e tambacus. Segundo os dados levantados pelo IBAMA, em 2000, foram produzidas no Brasil 54,6 mil toneladas de carpa, 32,5 mil toneladas de tilápias, 9,8 mil toneladas de tambaqui. Em 2001 a produção de tilápia na América do Sul foi representada por 18,4% da produção mundial (FAO, 2003 *apud* Bastos *et al.*, 2003^b).

No início de uma experiência de piscicultura, é recomendável utilizar espécies bem estudadas em suas limitações às condições ambientais e de reconhecida aptidão para a criação naquele ambiente (Pereira, 2004).

Proença e Bittencourt (1994) descrevem características desejáveis para uma espécie ser adequada para a piscicultura:

- Ser facilmente propagável, natural ou artificialmente, de modo a produzir, anualmente grande número de alevinos;
- Apresentar bom crescimento em condições de cativeiro;
- Ser resistente ao manejo e às enfermidades mais comuns;

- Apresentar hábito alimentar onívoro e herbívoro;
- Quando carnívora, ela deverá ter alto valor comercial e aceitar alimento não vivo, de preferência ração;
- Apresentar uma boa conversão alimentar, ou seja, capacidade de transformar alimento em carne;
- Não apresentar canibalismo intra ou interespecífico; e
- Ter boa aceitação no mercado.

A aqüicultura tem sido fortemente desenvolvida para tratar dois maiores objetivos que são: comida segura e geração de renda. Com o desígnio de satisfazer essas demandas para produção de animais aquáticos, a aqüicultura tem passado por diversificação no cultivo de espécies e intensificação dos sistemas de produção. Por conseguinte, o desenvolvimento da aqüicultura requer um extenso gasto de recurso material e um notável impacto ambiental (Lin e Yang Yi, 2003).

Ainda segundo Lin e Yang Yi (2003) a aqüicultura como produção, intensifica o aumento da entrada de alimento, resíduo material, incluindo matéria orgânica, nutrientes e aumento de sólidos suspensos em lagoas.

Um dos problemas mais comuns nesses tipos de sistemas é a eutrofização, que pode funcionar como produtora de matéria orgânica autóctone. As principais fontes de matéria orgânica nos sistemas de cultivo de organismos aquáticos são as rações utilizadas, as quais somam-se às fezes e a outros metabólitos. Um dos agravantes desse problema é o uso indiscriminado de rações com aditivos como hormônios e outros promotores de crescimento, tais como Cobre e Zinco. Além disso, no esforço de minimizar os custos, vários piscicultores têm utilizado rações inadequadas, como rações para suínos, cachorros, gatos e coelhos, as quais apresentam níveis diferenciados de proteínas e de outros componentes, que não correspondem às exigências nutricionais da espécie de peixe cultivada e, conseqüentemente, deixam resíduos que poluem as águas. Na realidade, esses problemas ambientais surgem por falta de informação adequada do aqüicultor e da ambição em conseguir um aumento da rentabilidade, num curto espaço de tempo (Campos, 2001).

Campos (2001) relata ainda que existem outros problemas ambientais potencialmente derivados da piscicultura tradicional, que entre eles ressaltam-se os métodos utilizados para a eliminação de predadores, a calagem e fertilização dos viveiros, o controle e eliminação do fitoplâncton, a profilaxia e a utilização de agrotóxicos e pesticidas para controle de larvas de insetos.

3.4.1 Sistemas de Produção

De acordo com os estudos realizados pela CODEVASF (1985) *apud* Bastos *et al.* (2003^c), existem três principais modalidades de piscicultura, que são:

3.4.1.1 Piscicultura extensiva

Pode ser praticada em águas fechadas artificialmente que não foram construídas diretamente para o cultivo de peixes, como os açudes e reservatórios. Geralmente, povoa-se com peixes de cultivo qualitativa e quantitativamente adequados para utilizar as fontes de alimentos naturais que, sem os peixes não existiriam a produtividade é próxima a obtida em condições naturais. Nessa modalidade não se alimentam os peixes regularmente e não se fertiliza a água com fertilizantes orgânicos ou inorgânicos, os animais que bebem água automaticamente deixam cair seus excrementos, que fertilizam a água favorecendo a produção de peixes, entretanto, para que ocorra a fertilização depende de três fatores: (a) capacidade de suporte alimentar da água; (b) escolha de espécies adequadas, e (c) bom manejo da piscicultura.

3.4.1.2 Piscicultura Intensiva

É praticada em viveiros construídos estritamente com o fim de se criar peixes. Nos cultivos semi-intensivo ou intensivo, caracterizados, dentre outros fatores, pela utilização de doses menos ou mais completas de alimentação artificial, o objetivo é maximizar a produção em áreas compactas. A criação intensiva envolve de forma geral, maior renovação de água, de 10% até 100% por dia do volume dos tanques, dependendo da qualidade da água, da densidade de peixes, de fatores climáticos e da produtividade desejada. Em sistemas intensivos, os tanques construídos, em geral, são rasos e, de preferência, retangulares, com

elevada relação comprimento: largura, de forma a aumentar a produção primária. Portanto, assemelha-se em configuração às lagoas de estabilização.

3.4.1.3 Piscicultura Superintensiva

Anteriormente, essa modalidade foi aplicada quase tão somente para cultivar trutas. Porém, quando as gaiolas puderam ser fabricadas de materiais não perecíveis e houve a fabricação dos alimentos artificiais comprimidos, a prática da piscicultura superintensiva tornou-se possível. A piscicultura superintensiva foi expandida para cultivo de espécies de peixes mais preciosas como enguia, bagre de canal (USA), bagre da Europa, tilápia nilótica, etc. Neste caso, uma só espécie de peixe é cultivada em alta densidade de povoação (em cada metro cúbico de gaiolas ou tanques pequenos se coloca de 20-100 peixes), necessitando aqui o provimento de oxigênio, continuamente, e a remoção dos metabólitos dos peixes, principalmente os amoniacais e os restos de alimentos podres.

3.4.2 Técnicas de fertilização e alimento

A alimentação dos peixes pode ser classificada em termos dos itens alimentares ingeridos: omnivoria, planctivoria, detritivoria, iliofagia, piscivoria, insetivoria, herbivoria e bentivoria. A dieta dos peixes pode ser definida por adaptações anatômicas e fisiológicas ao habitat, ao tipo e à disponibilidade de alimentos, sendo que a eficiência da alimentação varia entre espécies e entre formas intra-específicas. Em sistemas rasos (como as lagoas de estabilização) a detritivoria pode ser importante e o potencial de escape das presas, via migração vertical, pode ser menor (Roche e Rocha, 2005).

Na realidade, todos os peixes são planctívoros na fase larval e, ao crescerem, algumas espécies continuam se alimentando do plâncton, como planctívoros obrigatórios, facultativos ou oportunistas (Sipaúba-Tavares, 1994). Assim, um dos fatores mais importantes para o sucesso na produção de peixes é a utilização do alimento natural (fitoplâncton e zooplâncton), principalmente, nos estágios iniciais de desenvolvimento. Como destacam Sipaúba-Tavares e Rocha (2001), mesmo que a alimentação artificial seja um fator determinante na otimização da produtividade, os peixes só se adaptam a ração após o desenvolvimento completo do trato digestivo e, em geral, o plâncton constitui, em qualquer estágio, importante fonte de alimento.

Na Figura 3.1 é apresentado um esquema dos diferentes processos de produção de peixes, tanto por métodos diretos, como os indiretos (CNRH, 2003).

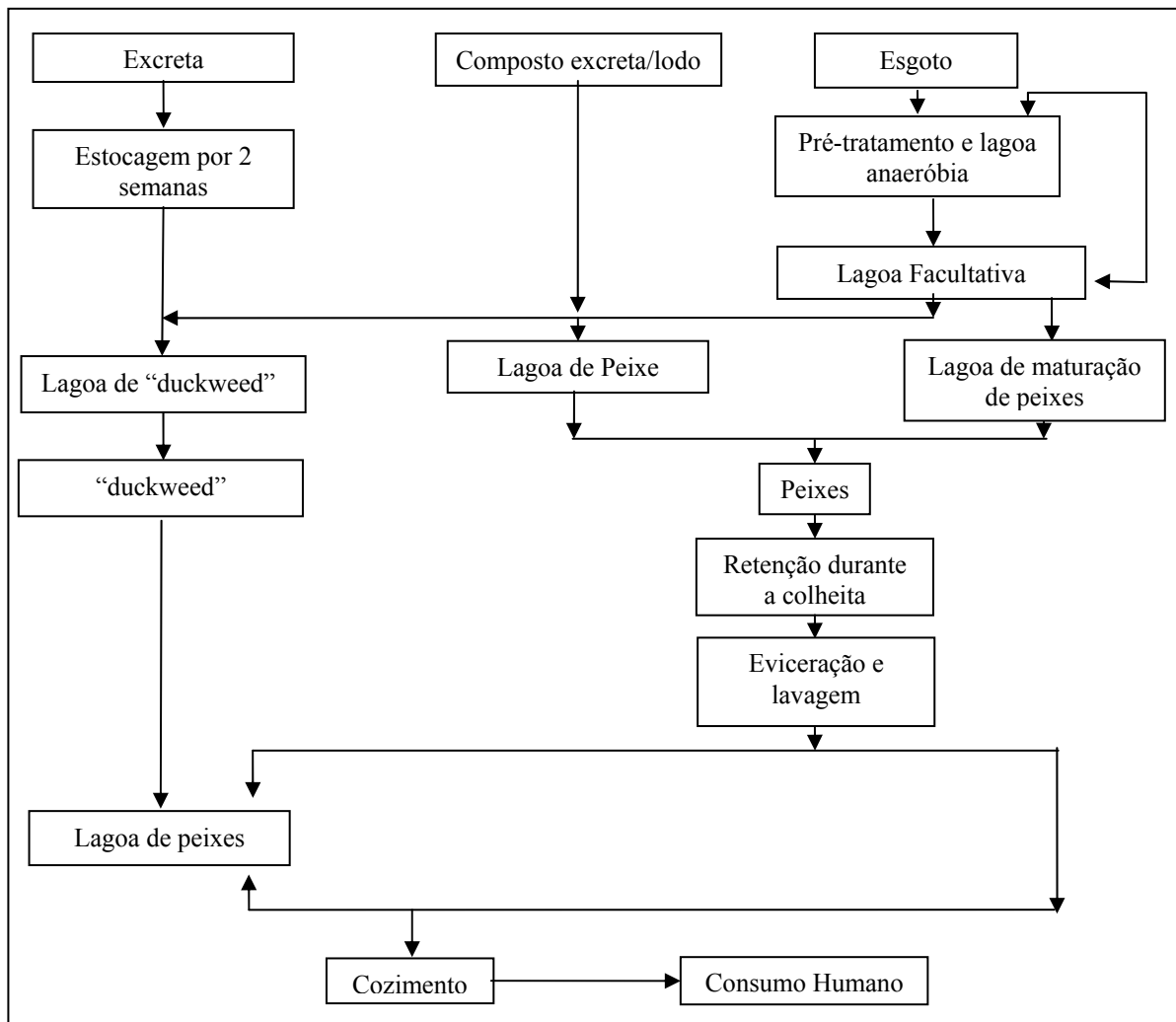


Figura 3.1: Sistemas de aquicultura direta e indireta utilizando excreta, esgotos ou compostos (CNRH, 2003).

A fertilização de lagoas para produção de peixes pode ser efetuada utilizando excreta, esgotos e, em menor extensão, compostos preparados com excreta e biossólidos. A grande maioria dos sistemas existentes aplica esgotos ou excretas, sem nenhum tratamento ou apenas parcialmente tratados, diretamente nas lagoas onde são produzidos os peixes ou plantas aquáticas comestíveis. Alguns sistemas, contudo como o que vem sendo praticado em Bangladesh, e alguns outros países asiáticos, a produção de peixes é efetuada por meio de um processo indireto, fertilizando uma primeira série de lagoas para a produção de “duckweed”, a qual é, depois de colhida é seca, e aplicada à uma segunda série de lagoas nas quais são feitas

a criação de peixes. O sistema tem se mostrado bastante seguro em termos de proteção da saúde dos consumidores de peixes e altamente benéfico em termos econômicos.

O CNRH (2003) reporta ainda que, não existe no Brasil a prática de utilizar excreta ou compostos de excreta e biossólidos para a fertilização de lagoas, bem como para a produção de peixes sendo necessários estudos mais específicos, pois ainda estão muito incipientes. Como política fundamental a ser adotada, em nível federal, recomenda-se que, no Brasil, se incorpore, unicamente, a prática de fertilização indireta de lagoas produtoras de peixes, como esquematizado na Figura 3.2. Essa metodologia deve ser aplicada à todas novas propostas de sistemas de aquicultura, devendo ser analisadas, em nível de bacia hidrográfica, as possibilidades de adaptação dos sistemas de produção de peixes que empregam a metodologia direta, isto é, a que fertiliza diretamente, com efluentes as lagoas produtoras de peixes.

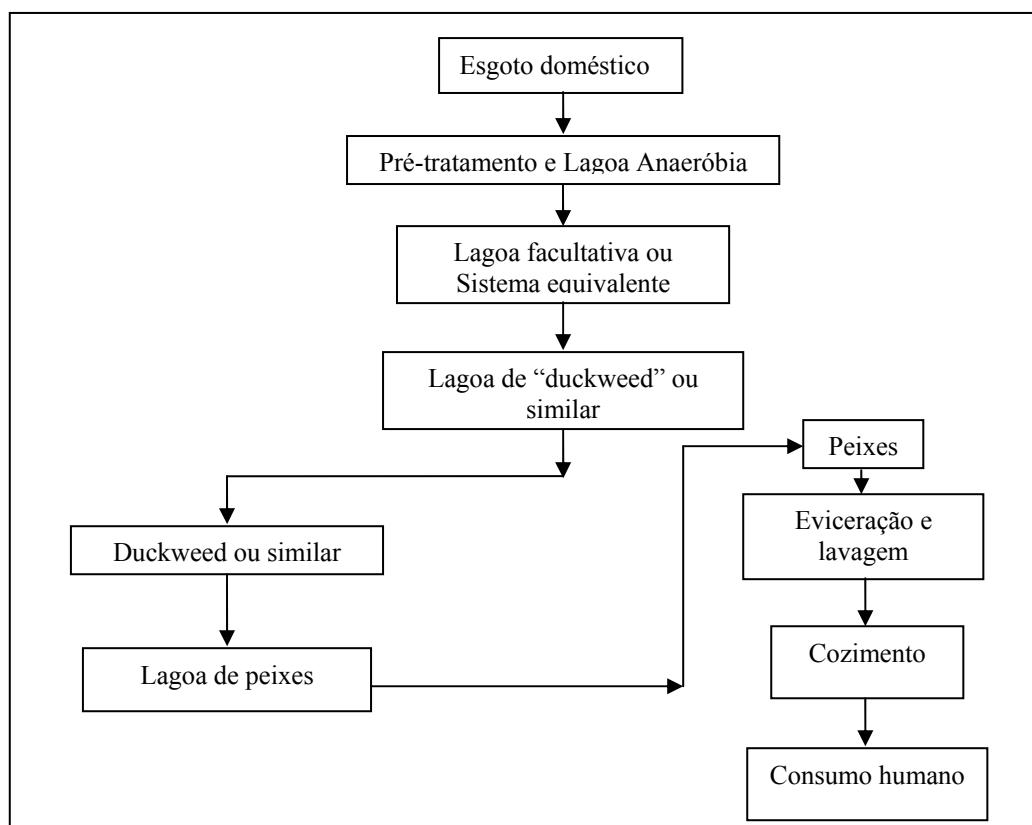


Figura 3.2: Sistema de fertilização indireta sugerida para implementação no Brasil (CNRH, 2003).

Apesar do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) sugerir que a produção de peixes seja efetuada unicamente pelo sistema indireto, Machado (2006) afirma que, estudos

realizados no Brasil (Matheus, 1984, 1985, 1986, 1993; Matheus *et al.*, 1998; Azevedo *et al.*, 1993; Hortegal Filha *et al.*, 1999; Felizatto, 2000; Souza, 2002; Souza e Souza, 2003; Bastos *et al.*, 2002, 2003^a, 2003^b), em escala experimental, e em vários países no mundo (Edwards, 1992; Strauss e Blumenthal, 1990; Moscoso, 1998, 2002; Leon e Moscoso, 1996; Moscoso *et al.*, 1992^a, 1992^b, 1992^c, El-Gohary *et al.*, 1995; Shereif *et al.*, 1995; El-S Easa *et al.*, 1995), remetem que a fertilização direta das lagoas de peixes é uma prática segura e viável, desde que sejam tomados todos os cuidados necessários, como em qualquer cultivo.

Sipaúba-Tavares e Rocha (2001) reportam que, a dieta dos peixes deve ser balanceada e conter componentes alimentares em diversidade (proteínas, carboidratos, lipídios, ácido graxos, aminoácidos, vitaminas e minerais) e quantidade adequadas às diferentes espécies. Entretanto Melão *et al.* (2005), observou que do ponto de vista anatômico-nutricional a concentração de energia na dieta dos peixes é o principal fator que determina a taxa de ingestão.

Esses autores enfatizam que o alimento vivo, devido ao seu conteúdo de ácidos graxos e enzimas essenciais, é a melhor opção para a nutrição inicial das larvas. Outros fatores que influenciam na preferência pelo alimento natural nos estágios iniciais de vida dos peixes (larvas e juvenis) são o tamanho reduzido do plâncton e sua pouca capacidade de escape ao predador, além da facilidade de digestão.

A quantidade requerida de alimento diariamente na fase de alevinagem situa-se entre 7-10% do peso vivo, na fase de engorda entre 5-7%. A preferência por fitoplâncton ou zooplâncton varia entre as espécies. Por exemplo, larvas de tilápia consomem, preferencialmente, fitoplâncton, enquanto os juvenis de tilápia preferem basear sua alimentação igualmente em fito e zooplâncton (Teixeira Filho, 1991).

Em estudos com tilápias conduzidos por Moscoso *et al.* (1992^a), foi alcançada uma produtividade de 4.400 kg/ha.safra sem qualquer suplemento alimentício, demonstrando a viabilidade econômica e considerável produção de peixes com efluentes de lagoas de estabilização.

Contudo, Edward *et al.* (1981), relatam que a partir de uma determinada fase de desenvolvimento dos peixes o alimento natural pode não mais proporcionar ganhos de peso satisfatórios, quando comparados ao cultivo convencional com fornecimento de ração e que existe uma relação entre a concentração de fitoplâncton e o crescimento de tilápias de até 70 mg (massa seca)/L. A partir desse valor o consumo noturno de oxigênio por parte da biomassa algal começa afetar negativamente o desenvolvimento das tilápias.

Bastos *et al.* (2003^c) e Pereira (2004), conduzindo experimentos similares com tilápias cultivadas com efluentes de lagoas de polimento, observaram que no estágio inicial do crescimento dos peixes o ganho de peso nos tratamentos com efluentes foi comparável ao cultivo com fornecimento de ração, porém, à medida em que os peixes ganhavam biomassa, o ganho de peso dos peixes alimentados com ração foi superior. Não obstante, os resultados foram interpretados como indicativos da viabilidade técnico-econômica do cultivo de tilápias com efluentes de lagoas, e ênfase na fase de desenvolvimento inicial dos peixes.

3.4.2.1 Fitoplâncton

Algumas características do plâncton são determinantes na seleção alimentar tais como: tamanho e visibilidade, mobilidade e capacidade de flutuação, abundância, facilidade de captura, valor nutricional, facilidade de absorção e digestão (Sipaúba-Tavares e Rocha, 2001 e Roche e Rocha, 2005). As células fitoplanctônicas representam o primeiro nível de alimento acessível à muitas espécies de peixes, particularmente, para o estágio larval.

Em lagoas de estabilização, as algas representam cerca de 60-90% dos sólidos em suspensão, podendo alcançar concentrações da ordem de 60-200 mg/L de sólidos em suspensão secos (biomassa de fitoplâncton/L) ou 10^4 - 10^6 organismos/mL (von Sperling, 2002). No trabalho de Moscoso e Muñoz (1992^b), efluentes de lagoas de estabilização no Peru apresentaram valores de 700-1.000 µg clorofila-a/L e 45-76 mg fitoplâncton (massa seca) /L. Em tanques de peixes alimentados com o efluente, a matéria seca de fitoplâncton variou de 43-56 mg/L.

A identificação de espécies de algas e o estado fisiológico das células são também importantes para melhor caracterizar a qualidade ou o estado trófico da água e a disponibilidade de alimentos para os peixes (Sipaúba-Tavares e Rocha, 2001). Entretanto, é

necessário observar ainda problemas potenciais como proliferação de cianobactérias em lagoas de estabilização ou em tanques de piscicultura e a liberação de cianotoxinas. Embora existam sugestões de que algumas espécies de peixes (por exemplo, tilápia e carpa) evitem o consumo de plâncton na presença de células tóxicas, há outras evidências que a exposição prolongada às elevadas concentrações pode levar à acumulação de cianotoxinas nos peixes (WHO, 2006).

Dentre as principais fontes de alimentos para os peixes encontram-se as clorofíceas, de pequeno tamanho e parede celular fina. Por outro lado, algumas cianofíceas (cianobactérias) podem produzir toxinas letais aos peixes e tóxicas também ao ser humano. A diversidade e a predominância de espécies dependem de uma série de fatores, tais como: temperatura, luz, carga orgânica, OD, nutrientes, predação e competição. Alguns autores sugerem que, a relação N:P é um dos principais fatores determinantes na dominância de gêneros e espécies de algas – em baixa relação N:P as algas cianofíceas são beneficiadas por apresentarem maior capacidade de obtenção de nitrogênio – e, se sua relação for mais alta (>5) as clorofíceas tendem a dominar (Sipaúba-Tavares, 1994; Sipaúba-Tavares e Rocha, 2001).

A quantificação da biomassa do fitoplâncton de um meio líquido pode ser realizada através de métodos diretos (determinação de peso úmido e peso seco) ou por métodos indiretos como a extração de clorofila-a. Devido à relativa simplicidade e rapidez do método, a concentração de clorofila-a é o indicador mais utilizado, em todo o mundo, para expressar a concentração de biomassa do fitoplâncton em meio líquido (Queiroz, 2001).

Pereira e Lapolli (2003) ressaltam que, uma alta densidade sendo cultivada nos viveiros favorece a competição por alimento (fitoplâncton), causando morte e baixa densidade de produção. Fato observado também por Bastos *et al.* (2003^b), que indicam as densidades mais elevadas como fator limitante para a sobrevivência dos peixes.

3.4.2.2 Zooplâncton

O zooplâncton de água doce é constituído, essencialmente, por Protozoa, Rotifera e Crustácea – microcrustáceos, representados pelos grupos Copepoda, Cladocera e Ostracoda.

O zooplâncton é um importante componente na dinâmica de um ambiente aquático. Alguns gêneros e espécies são predadores de bactérias e outros consomem fitoplâncton, sendo estes últimos (zooplâncton herbívoro) o principal elo entre os produtores primários e os níveis tróficos superiores. Rotíferos e cladóceros (por exemplo, *Daphnia*), particularmente, são capazes de crescer em altas densidades alimentando-se de resíduos orgânicos e bactérias (Sipaúba-Tavares e Rocha, 2001).

Lagoas de tratamento de esgotos podem apresentar populações de rotíferos e cladóceros da ordem de 3.000 e 300 indivíduos/L, respectivamente (Guerrin, 1988; Nandini, 1999). No Peru, Moscoso *et al.* (1992^a), observaram uma proliferação intensa de ciliados, rotíferos, cocépodes e cladóceros. Analisando a composição bioquímica do plâncton coletado em lagoas de estabilização, os autores ressaltaram seu grande valor nutricional para as primeiras fases de vida de diversas espécies de peixes.

Porém, é importante salientar que, nem todas as espécies de zooplâncton conseguem sobreviver em águas residuárias, principalmente em altos teores de amônia, enxofre e matéria orgânica. Pode-se observar um significativo decréscimo na biomassa zooplanctônica em virtude dos efeitos da amônia não ionizada em níveis superiores a 2,5 mg/L, sendo os rotíferos os mais afetados.

3.5 UTILIZAÇÃO DE ESGOTOS SANITÁRIOS NA PISCICULTURA

O tratamento de águas residuárias por lagoas de estabilização utiliza as mesmas potencialidades de qualquer viveiro de piscicultura. Como o objetivo dessa piscicultura é a produção e, conseqüentemente, a melhoria do meio ambiente, deve-se procurar o máximo de produção e a redução dos impactos ambientais, com diminuição da carga de sólidos suspensos (algas, rotíferos, grumos de bactérias e matéria orgânica particulada) e consumo, pelo ambiente dos nutrientes disponíveis na produção de alimento, por meio da cadeia trófica existente (Pereira, 2004).

A piscicultura com esgotos sanitários, bem como a piscicultura em si, como contribuição à segurança alimentar, deve obedecer aos princípios da sustentabilidade econômica, sanitária e ambiental, ou seja, a atividade deve garantir retorno financeiro, não impor riscos à saúde

humana e não provocar impactos ambientais. Adicionalmente, impõe-se desafio de vencer resistências de natureza cultural (Bastos *et al.*, 2003^c).

Produzir peixes com esgoto tratado pode, a princípio, parecer desnecessário em um país com dimensões continentais onde em boa parte de seu território há abundância de água. No entanto, além da distribuição desigual da oferta de água no território nacional, a piscicultura com esgotos sanitários constitui fonte alternativa de produção de proteína a baixo custo e, também, numa forma de reciclagem de nutrientes contribuindo para o controle de poluição e de eutrofização dos corpos receptores (Bastos *et al.*, 2003^c).

Um claro atrativo para a utilização de esgotos sanitários na piscicultura é a oferta de água. Considerando uma contribuição *per capita* de esgotos de 150-200 L/hab.dia e uma demanda genérica de água para a piscicultura de 10 L/s.ha, constata-se que os esgotos produzidos por pessoas seriam suficientes para suprir um volume de cultivo de peixes de 1,7-2,3 m³, ou seja, uma população de 10.000 habitantes produziria “água” para o cultivo de peixes em 2 ha. Em geral, como dito anteriormente, a criação intensiva envolve taxas de renovação volumétrica diária de água de 10% até 100% dependendo da qualidade da água, da densidade de peixes, de fatores climáticos e da produtividade desejada (Bevilacqua *et al.*, 2006).

3.5.1 Histórico

Há muito tempo se pratica o uso de excretas na piscicultura, de acordo com Edwards (1992) isto constitui uma prática centenária, se não milenar, principalmente na Ásia. A utilização de esgotos sanitários é aparentemente menos freqüente, porque encontra-se ainda uma cobertura precária dos serviços de esgotamento sanitário nos países em desenvolvimento.

Em Israel, a piscicultura e a irrigação, com esgoto sanitário é provida como política governamental de conservação de recursos hídricos. Em 1977, registrou-se a existência de 50-100 ha de área de cultivo de peixes com esgoto sanitário, em sua maioria como contribuições de comunidades rurais de 500-1.500 habitantes. Já em 1983, existem registros que 18% de todo o esgoto sanitário produzido no setor rural, incluindo os *kibbutzin* (comunidade israelense), eram utilizados na piscicultura (Edwards, 1992).

Em Munique, Alemanha, encontra-se registros que comprovam a mistura dos efluentes com água de rio em diferentes proporções desde 1929. Assim, há um complexo de lagoas de peixes em um total de 200 ha. Em razão das temperaturas mais baixas, o ganho de peso e o aumento de tamanho dos peixes eram lentos, em torno de três anos até atingirem tamanhos e peso comercial (1,5 kg) (Edwards, 1992).

Edwards (1992) cita que na África existem relativamente poucos estudos com cultivo de peixes em esgotos sanitários. Estudos em menor escala são realizados no Quênia, Malawi, África do Sul e Zimbábue. Tendo como espécies cultivadas a carpa comum e a tilápia do Nilo, obtendo sucesso no cultivo em lagoas facultativas e de maturação por seis anos sem apresentar mortandade significativa.

Na América Latina a experiência mais notável é a de Lima, Peru, onde desde 1983 o Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) desenvolvem pesquisas no complexo de lagoas de estabilização de San Juan de Miraflores, constituído de 20 lagoas que tratam cerca de 300 L/s há mais de 30 anos, obtendo uma produção final de 4400 kg/ha e, ainda, não detectou-se presença de vírus e bactérias nos peixes.

3.5.2 Estudos no Brasil

No Brasil diversos estudos de reúso de água têm sido feitos, sendo um dos pioneiros Matheus (1984) *apud* Machado (2006) que estudou o comportamento biológico da tilápia do Nilo em ambientes altamente seletivos de lagoas de estabilização e avaliou a influência desse peixe no processo de tratamento biológico de resíduos orgânicos.

Matheus (1984) *apud* Machado (2006) utilizou excretas de suíno como material estabilizado, principalmente, devido à dificuldade de se obter esgoto doméstico na região, facilidade em poder criar porco no local e semelhança entre o resíduo de porco e fezes humanas, além disso, o resíduo de porco é bem representativo do material orgânico desperdiçado em regiões agropecuárias. O pesquisador realizou o experimento em lagoas facultativas e de maturação com tilápia do Nilo.

Desta forma, concluiu que a espécie estudada teve um crescimento mais acentuado nas lagoas facultativas (por causa da maior quantidade de alimento disponível na forma de fitoplâncton) do que nas de maturação (lagoa que possuía efluente clarificado). Com isso, não houve diferença significativa entre a remoção média de DBO e outros parâmetros ao comparar as lagoas com peixes das sem peixes, entretanto, observou um melhor funcionamento da lagoa que continha peixes, pois essa não apresentou *Bloom* de microcrustáceos, nem elevação de material bentônico para a superfície e nem anaerobiose total em dias ensolarados como observado na lagoa que não continha peixes.

Azevedo *et al.* (1993), estudaram durante nove meses na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) o cultivo de tilápia, dentro de uma lagoa facultativa da Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico da cidade turística de Termas de Ibirá. Foram estocados 700 exemplares de tilápia do Nilo com comprimento de 5 e 25 cm, sendo que os peixes de 25 cm eram representados por fêmeas que estavam, no momento do peixamento, em fase de desova. Observou-se que 70 peixes foram mortos ao longo do trabalho, devido a ferimentos durante o transporte e, também, por aves predadoras que sobrevoavam o local.

Azevedo *et al.* (1993) concluíram, ao final do estudo, ser possível a utilização de tecnologia de baixo custo em benefício da melhoria do ecossistema e a produção de proteína a partir de esgoto, para ser usada como alimento animal. Além de ter sido observada uma melhora na remoção da matéria orgânica, visto que, sem peixes, a remoção de DBO₅ era de 70,9% e com peixes, esta remoção passou para 84% e a de DQO de 59,6% para 74%. As concentrações de pesticidas, metais pesados e bactérias patogênicas na água estiveram abaixo do limite estipulado.

Hortegal Filha (1999) avaliou o desempenho do sistema de lagoas de estabilização do Distrito Industrial (DI) de Maracanaú no estado do Ceará, tratando esgoto doméstico e industrial visando o reúso de água. Com isso, realizou o levantamento da ictiofauna presente nas lagoas de maturação observando o crescimento de formas juvenis de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) que foram estocados em quatro tanques-rede nas lagoas de maturação secundária e terciária. Essa autora concluiu que, o sistema operou com uma vazão média de 116,4 L/s, abaixo da de projeto (523 L/s), apresentou uma DBO₅ de 25 mg/L respeitando os padrões exigidos pelos Estados Unidos (30 mg/L) podendo ser usado na piscicultura. A concentração

de nitrogênio amoniacal igual a 1,4 e 1,5 mg N/L (efluente e coluna) está abaixo do preconizado na literatura (em média 2 mg/L). Obteve-se uma remoção de 99,9999% de Coliformes Termotolerantes, estando dentro do recomendado pela OMS.

A espécie utilizada apresentou baixos valores de comprimento e pesos, sugerindo que os reservatórios usados na pesquisa servem para produção de alevinos. Também observou-se que, não houve contaminação na pele e músculo dos peixes das lagoas (secundárias e terciárias), as tilápias estocadas nos tanques-rede tiveram bom incremento de peso, indicando que a lagoa secundária e terciária pode ser utilizada para o cultivo de peixes em cativeiro.

Gradwohl (2006) estudou a viabilidade ambiental do reúso de esgotos tratados na piscicultura, a partir de uma avaliação de risco, evidenciando os aspectos sanitários, epidemiológicos e ecotoxicológicos inerentes ao mesmo. A pesquisa foi desenvolvida com a utilização do efluente da Estação de Tratamento de Esgotos do Município de Aquiraz, localizado na Região Metropolitana de Fortaleza na propriedade da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE). Esse efluente é caracterizado por sistema de lagoas de estabilização sendo uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e duas de maturação. Para isso, foram realizados testes de toxicidade aguda, de curta duração, para avaliação da toxicidade dos efluentes tratado e bruto de um sistema de lagoas de estabilização, tendo como organismos-teste peixes de água doce da espécie *Oreochromis niloticus* (tilápia do Nilo).

Os testes objetivaram determinar o índice de toxicidade aguda (LC_{50}). O efluente tratado foi utilizado em duas etapas distintas, com peixes que tinham idade superior a 60 dias e alevinos com tempo de vida inferior a 15 dias. Em ambos, não foi observada mortalidade de nenhum organismo. No caso do esgoto bruto, o ensaio foi realizado com e sem aeração, sendo obtidos para o esgoto bruto sem aeração os índices de LC_{50} -24h de 68% e LC_{50} -96h de 35,4%. Já com a aeração mecânica aplicada às duas diluições de 50 e 100% de esgoto bruto, os LC_{50} 's encontrados foram de 44,5% (24h), 41,0% (48h) e 36,7% (96h). O ensaio foi também realizado para avaliação do nível de toxicidade da amônia tendo em vista que, a mesma tem sido considerada por vários pesquisadores um produto tóxico às algas, ao zooplâncton e aos peixes. Para esses ensaios foram determinados os LC_{50} 's de 2,01 mg NH_3/L (2h), 1,97 mg NH_3/L (4h) e 1,66 mg NH_3/L (até 96h).

Pode-se verificar, ainda com o teste de toxicidade aguda com amônia, que os valores reportados à literatura técnica são viáveis ao admitir que acima de 2,0 mg NH₃/L são tóxicos e, também letais para os peixes. Por fim, a avaliação de riscos ambientais e ecotoxicológicos tendo em vista que as normas da OMS, CONAMA, ANVISA e da USEPA, permitiram concluir quais as medidas mitigadoras simples, mas de alta prioridade adotadas para que a atividade da piscicultura, com reúso de águas residuárias tratadas, seja segura aos trabalhadores e consumidores. Bem como, ambientalmente viável, pois foram evidenciados riscos potenciais à saúde e ao meio ambiente, em sua maioria, no nível do intermediário ao alto. Por fim, foi utilizada uma metodologia de análise de riscos buscando-se realizar um estudo dos efeitos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente, e, ainda, propondo-se medidas para tentar minimizar os possíveis impactos adversos (Gradwohl, 2006).

3.5.3 Estudos realizados na ETE Samambaia

Felizatto (2000) estudou o potencial do reúso de água em piscicultura como pós-tratamento de efluentes de lagoas de estabilização em série associado à produção de pescado. No experimento foi construída uma unidade piloto com dois tanques operando em paralelo. Nesse estudo, optou-se por policultivo com tilápia do Nilo e carpa prateada com alimentação em regime contínuo com tempo de detenção hidráulica de 13 dias.

Observou-se mortalidade total das carpas no primeiro mês de experimento, e uma sobrevivência de 14% de tilápia. A mortalidade das carpas e, em parte das tilápias, deveram-se ao elevado teor de amônia presente na amostra bruta, sendo esse valor em média de 8,11 mg/L. Entretanto, foi observada uma taxa de crescimento relativa de 1,21% (diária) para as tilápias remanescentes, as quais mediante análises microbiológicas foram consideradas aptas ao consumo humano. Quanto à melhora no efluente, notou-se remoções de 15% para SST e 12% para Clorofila-a.

Souza (2002) realizou um estudo a respeito da toxicidade dos efluentes da Estação de Tratamento de Esgoto de Samambaia, tendo em vista seu reúso na piscicultura. O experimento foi realizado na própria estação, na área da Unidade Piloto de Samambaia (UPS), utilizando as águas residuárias da Lagoa de Polimento Final – Módulo II, e como bioindicadores, as larvas e alevinos das espécies tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e

carpa prateada (*Hypophthalmichthys molitrix*). A avaliação dos efluentes foi feita por intermédio da realização dos testes de toxicidade preliminar, definitivo agudo, definitivo crônico e de sensibilidade.

A toxicidade dos efluentes foi avaliada em relação aos seguintes parâmetros: temperatura, potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido, amônia, bem como a mortalidade dos peixes. Nas condições de realização do experimento constatou-se que, os efluentes tratados da estação não causam toxicidade aguda para as espécies tilápia do Nilo e carpa prateada, nem toxicidade crônica para a tilápia do Nilo. Além disso, os peixes remanescentes dos ensaios foram considerados de qualidade sanitária satisfatória com relação a coliformes termotolerantes (NMP/g), *Staphylococcus aureus* (UFC/g) e *Salmonella sp.* Portanto, face a esses resultados, deduziu-se que os efluentes da ETE – Samambaia oferecem potencial para reúso na piscicultura (Souza, 2002).

Machado (2006) avaliou se a qualidade do efluente da ETE Samambaia no Distrito Federal é apropriada para a criação da espécie tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Trabalhou com espécies revertidas sexualmente, do sexo masculino, e aproveitou a unidade piloto construída na pesquisa passada por Felizatto (2000). Entretanto, construiu um terceiro tanque que serviu para comparação dos resultados com a piscicultura convencional. Nessa pesquisa Machado trabalhou com alevinos (1ª fase) e, na segunda etapa, optou por trabalhar com peixes de 25 g, mesmo peso trabalhado por Felizatto (2000) em sua pesquisa.

Porém, devido aos problemas observados no decorrer do experimento e não previstos no plano original, tornou-se necessário fazer algumas adaptações na metodologia original. A primeira delas foi a utilização de tanques-rede nos dois tanques que receberam alevinos, até que os peixes atingissem cerca de 25g. A segunda providência foi a inserção da fase de aclimação/adaptação, que consistia em estocar alevinos em reservatórios de água para verificar a aceitabilidade do lote (aclimação) e depois adaptar os alevinos às condições adversas, as quais eles seriam expostos (adaptação). Na fase de aclimação, os alevinos foram considerados aptos para o cultivo. No período de adaptação, não se percebeu a mortalidade de peixes, apesar da condição a qual eles foram expostos ter sido considerada inadequada à criação da espécie. Contudo, a qualidade da água na fase de adaptação era melhor que as condições do tanque TA. Observou-se, ao final do experimento, a mortalidade

total dos alevinos estocados. Um dos motivos que pode ter causado esse fato foram os altos teores de amônia e as baixas concentrações de oxigênio dissolvido. O valor médio de amônia no tanque TA, durante o experimento 2 foi de 22 mg/L e a concentração média de OD, 2,4 mg/L.

3.6 ESPÉCIE UTILIZADA E EFEITO NA QUALIDADE DA ÁGUA

Uma seleção criteriosa da espécie a ser cultivada é um fator importante para aproveitar o potencial de utilização de esgotos sanitários na piscicultura. Algumas espécies sugeridas para a criação são a carpa e tilápia. Sendo a tilápia considerada a espécie com maior potencial, pois é tolerante aos baixos níveis de oxigênio (suporta até 2,0 mg/L), às variações na salinidade e aos níveis de nitrogênio amoniacal, relativamente, elevados (entre 0,3 e 0,6 mg de NH₃/L).

Edwards (1992) ressalta que, o cultivo de peixes com a utilização de efluentes de lagoas pode ocorrer, essencialmente, sob duas condições de manejo: (a) a alimentação de tanques de piscicultura com efluentes tratados, e (b) o cultivo nas próprias lagoas. Sendo que tanques de piscicultura contíguos às lagoas possibilitam um melhor manejo da qualidade da água, por meio do controle de vazões afluentes para a taxa de renovação de água desejada. Nas lagoas, a taxa de renovação não se dá de forma fácil e o controle é determinado pelo tempo de detenção hidráulica. Com isso, nem sempre se consegue conjugar melhora da qualidade do efluente com a produtividade piscícola.

3.6.1 Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Depois da carpa comum, são as tilápias os peixes tropicais mais cultivados no mundo. Existem cerca de 70 espécies de tilápias distribuídas em quatro gêneros: *Oreochromis*, *Sarotherodon*, *Tillapia* e *Danakilia*. No Brasil a espécie mais difundida é a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) que, assim como as demais têm origem em rios e lagos do continente africano (Proença e Bittencourt, 1994).

As tilápias são excelentes peixes para cultivo, pois apresentam carne saborosa, com poucas espinhas, e são extremamente resistentes às condições adversas do meio e às enfermidades. Alimentam-se de plâncton e, em menor proporção, de detritos orgânicos, bem como do limo

que se forma sobre pedras e outros substratos. Em condições de temperatura acima de 20°C, as tilápias podem desovar naturalmente a cada 50 e 60 dias. A Figura 3.3 ilustra um exemplo de tilápia nilótica.



Figura 3.3: Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).
(World Fish Center, 2007).

3.6.2 Monossexo

Nos últimos 20 anos, os esforços das pesquisas têm se voltado para a procura de métodos confiáveis de produzir progênie de indivíduos somente de um determinado sexo. No caso das tilápias, o que se busca são populações com monossexo masculino, já que os machos apresentam melhor desenvolvimento do que as fêmeas (Borges, 2004).

De acordo com Beardmore *et al.* (2001), a vantagem predominante de culturas monossexo em sistemas de aquicultura inclui os seguintes fatores: (a) maior taxa de crescimento; (b) controle de superpopulação; (c) redução do comportamento sexual; (d) redução nas variações do tamanho e (e) redução do risco de impactos ambientais.

Várias são as opções para se conseguir populações monossexo, incluindo métodos genéticos, não genéticos e, também uma combinação entre eles. Dentre os principais métodos utilizados, destacam-se a sexagem manual, a hibridação interespecífica, a manipulação cromossômica e a reversão hormonal.

3.6.3 Sem reversão sexual (ambos os sexos)

O reúso de água com o cultivo de tilápia de ambos os sexos, pouco tem sido praticado no Brasil, uma vez que o cultivo somente de machos apresenta um crescimento duas vezes mais rápido que as fêmeas. O que resulta em maior produção, sendo este o objetivo da piscicultura convencional. Outra desvantagem observada nesse cultivo é o descontrole na reprodução, porque a tilápia do Nilo reproduz o ano inteiro, impossibilitando o produtor saber de fato quantos peixes têm no viveiro.

Pereira (2004) relata que, o cultivo de uma única espécie, em monocultivo, direciona toda cadeia de energia. Para atingir boa produtividade no ambiente, a espécie utilizada deve aproveitar os diversos níveis da cadeia trófica, ter boa variabilidade na alimentação e, também, utilizar os diversos ambientes do viveiro (superfície, meia água e fundo). Nesse caso, o cultivo de exemplares machos e fêmeas podem auxiliar na exploração da cadeia alimentar, uma vez que a fêmea quando em época de reprodução prefere habitar o fundo da lagoa para evitar predação por outros animais.

Com isso, pretende-se avaliar nesse trabalho o uso do cultivo de ambos os sexos para verificar o potencial de reprodução da tilápia às condições adversas e, conseqüentemente, observar se houve adaptação dessa espécie nesse meio. Desta forma, com o cultivo do plantel utilizado será capaz de saber se de fato os machos são mais resistentes que as fêmeas, conforme reportado na literatura científica.

3.6.4 Qualidade da Água na Piscicultura

A qualidade da água num tanque de piscicultura é resultado de influências externas (por exemplo, qualidade da fonte de água, características do solo, clima, introdução de alimentos – ração) e internas (densidade de peixes, interações físico-químicas e biológicas). Um tanque de piscicultura é um ambiente aquático complexo e dinâmico (Bastos *et al.*, 2003^c).

Como os tanques de peixes são em geral rasos e a rotina da piscicultura intensiva inclui a introdução de quantidades significativas de matéria orgânica (ração), muito freqüentemente o ambiente aquático formado é eutrofizado. Aliás, via de regra, é deliberadamente eutrofizado

por meio de adubação e calagem, de forma a favorecer o desenvolvimento de fito e zooplâncton no meio (Bevilacqua *et al.*, 2006).

Mara e Cairncross (1989) recomendam que, no reúso em aquicultura, a depender do processo de reúso usado (finalidade de aplicação desse reúso), deve-se ter ausência de ovos viáveis de trematódeos (média aritmética do número de ovos viáveis por litro ou quilo) no cultivo de peixes e macrófitas aquáticas e $< 10^4$ Coliformes Termotolerantes/100 mL em ambos tipos de cultivo.

De acordo com Felizatto (2000) e Felizatto *et al.* (2000), a configuração dos processos de tratamento e recuperação de águas residuárias apresenta-se com grande número de possibilidades. O que distinguirá é a produção do efluente de água recuperada com determinada característica em função da qualidade da água residuária afluenta. Sendo que os custos de tratamento e recuperação (investimento inicial, operação e manutenção) aumentam com a exigência de melhor qualidade para o efluente tratado.

Buras *et al.* (1987), questionaram a utilização de Coliformes Termotolerantes como indicadores para a invasão de músculos de peixes relatando que este indicador não é, nas condições propostas, adequadamente detectado. Com isso, Buras *et al.* (1987) e o CNRH (2003) propuseram a utilização de bactérias aeróbias totais (contagem total padrão em placas) como indicadores, assumindo que, uma vez detectados em peixes, indicariam a presença potencial de bactérias patogênicas. Essa classificação é separada segundo a qualidade bacteriológica: (a) 0-10 os peixes apresentam qualidade muito boa, (b) 10-30 qualidade média e (c) > 50 não aceitável.

Um tanque de piscicultura, assim como uma lagoa de estabilização, abriga uma comunidade complexa composta de organismos produtores primários (fitoplâncton, perifíton e, por vezes, macrófitas), heterotróficos (peixes, zooplâncton, zoobentos) e decompositores (bactérias e fungos). Do equilíbrio estabelecido nesta comunidade depende também a qualidade da água.

Deve-se levar em conta a qualidade do efluente tratado e seus efeitos sobre a qualidade da água nos tanques de peixes. Por exemplo, é de fundamental importância o controle das cargas

orgânicas sobre os níveis de OD e a toxicidade decorrente da salinidade e dos teores de amônia.

3.6.5 Parâmetros que influenciam no cultivo de peixes com efluentes de lagoas de estabilização

3.6.5.1 Nitrogênio Amoniacal

De acordo com Durborow *et al.* (1997), a amônia é o principal produto de excreção dos organismos aquáticos. Os peixes digerem proteínas na sua alimentação e excretam amônia por meio das suas guelras e nas suas fezes. A quantidade de amônia excretada por peixes varia conforme a quantidade de alimentos disponíveis na lagoa ou no sistema. A uréia é o único composto que é excretado em quantidades significativas e que não é tóxico quando em contato com a água, pois é rapidamente hidrolisada para produzir amônia e dióxido de carbono (Colt e Tchobanoglous, 1976 *apud* Arana, 1997).

A amônia é um gás extremamente solúvel em água e seu equilíbrio no sistema depende basicamente de temperatura, pH e salinidade. A toxicidade da amônia está relacionada aos vários efeitos deletérios nos peixes, tais como: falta de apetite, dificuldade de respiração, degenerações na pele, danificação das brânquias e rins e, também, redução no crescimento (Boyd, 1990). Pereira e Mercante (2005) relatam que, quanto mais elevado for o pH, maior será a porcentagem da amônia total presente na forma NH_3 , não ionizada (forma tóxica). Os compostos nitrogenados incorporados à água, na piscicultura intensiva, provêm, principalmente, da alimentação. A amônia é um composto resultante do catabolismo de proteínas, sendo encontrada em baixos níveis no início das criações, quando a biomassa é ainda pequena. Com o aumento da biomassa, o nível de amônia aumenta proporcionalmente ao aumento da quantidade de alimento fornecido.

Amonificação é a formação de amônia (NH_3) durante o processo de decomposição da matéria orgânica dissolvida e particulada. A amônia formada é resultante da decomposição tanto aeróbia como anaeróbia da parte nitrogenada da matéria orgânica por organismos heterotróficos. O sedimento é o principal sítio de realização deste processo (Esteves, 1998).

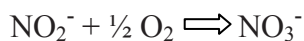
Esteves (1998) reporta que, no meio aquático, especialmente em valores de pH ácido e neutro, a amônia formada é instável, sendo convertida por hidratação a íon amônio ($\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$). Já em meio alcalino, a possibilidade de ocorrência deste processo é muito reduzida e a parte da amônia formada pode difundir-se para a atmosfera. A amonificação e a excreção de amônia por animais aquáticos são as principais fontes deste composto para o ambiente aquático. No entanto, comparando os dois processos, nota-se que a excreção por animais é quantitativamente insignificante, como fonte de amônia para estes ambientes.

Esteves (1998) relata que em decorrência da decomposição aeróbia e anaeróbia da matéria orgânica, há formação de compostos nitrogenados reduzidos como, por exemplo, a amônia. A oxidação biológica destes compostos a nitrato é denominada nitrificação. Na transformação de íon amônio para nitrato (nitrificação) participam dois gêneros de bactérias:

Nitrosomonas – que oxidam amônio a nitrito:



Nitrobacter – que oxidam nitrito a nitrato:



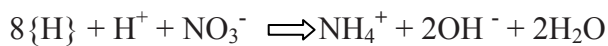
As bactérias nitrificantes são gram-negativas e pertencem à família Nitrobacteriaceae. A nitrificação é um processo predominantemente aeróbio e, como tal, ocorre somente nas regiões onde há oxigênio disponível (geralmente a coluna d'água e a superfície do sedimento) (Esteves, 1998).

A capacidade de algumas bactérias em utilizarem nitrato como acceptor de elétrons na cadeia respiratória, ao invés de oxigênio, é conhecida também como respiração de nitrato (Schlegel, 1976 *apud* Esteves, 1998). Este nome deve-se ao fato de que este processo corresponde em seus aspectos principais à respiração aeróbia, que utiliza oxigênio como acceptor de elétrons, e apresenta duas variações:

1º) Desnitrificação, que consta da redução do nitrato a nitrogênio molecular:



2º) Amonificação do nitrato, que consta da redução do nitrato a íon amônio:



A desnitrificação ocorre principalmente em condições anaeróbias. Nos ecossistemas aquáticos, o principal local de sua ocorrência é o sedimento, pois, além das baixas condições de oxigenação, há disponibilidade de grande quantidade de substrato orgânico. Nitrificação e desnitrificação são processos acoplados. Assim, no hipolímnio, no final de um período em condições anaeróbias, ocorre, em geral, grande quantidade de nitrogênio amoniacal. Com a oxigenação do meio aquático, inicia-se um intenso processo de nitrificação, que resulta no consumo de grande parte da amônia acumulada (Esteves, 1998).

Comumente a tolerância à amônia dos organismos aquáticos varia de acordo com a espécie, condições fisiológicas e fatores ambientais, entretanto a concentração letal para pequenas exposições (24 - 72 horas) está entre 0,4 mg/L e 2,0 mg/L de amônia não ionizada. Diferentes espécies de peixes, nos diversos estágios de vida, apresentam tolerância variada em relação às diversas formas de nitrogênio, em geral, os níveis letais são: NH_3 (0,6 – 2,0 mg/L), nitrito (0,5 mg/L), nitrato (5,0 mg/L). De acordo com Buras *et al.* (1987), as tilápias apresentam tolerância de NH_4^+ a 8,0 mg/L acima desse valor é mortal para os peixes.

A amônia livre (NH_3) é a forma volatilizável, portanto, em ambientes aquáticos com intensa atividade fotossintética e consumo de dióxido de carbono, o pH da água tende a ser mais elevado, o que, se por um lado desloca o equilíbrio da amônia para a forma tóxica, por outro, favorece a perda para o ar atmosférico por volatilização. Além disso, quando da supersaturação de oxigênio dissolvido (OD), o desprendimento de bolhas de oxigênio pode favorecer o arraste de NH_3 do meio líquido (Bevilacqua *et al.*, 2006).

Emerson *et al.* (1975) *apud* Pereira (2004) observaram que na temperatura de 25°C e em pH 7,0 somente 0,56% da amônia está sob a forma não ionizada, enquanto que em pH 8,5, a

forma não ionizada foi de 15,3% da amônia total. O pH e a temperatura afetam a definição das proporções entre as diferentes espécies de amônia e alteram a toxicidade dos compostos amoniacais. Para determinar o percentual da forma não-ionizada da amônia, utilizaram a fórmula estabelecida por Thurston *et al.* (1981):

$$\% \text{NH}_3 = \frac{1}{1 + 10^{[0,09018 + 2729,92 / (T + 273,20)] - \text{pH}}} \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo:

T = Temperatura °C

Uma boa quantidade de nutrientes na água é uma oportunidade para grande produtividade de algas, mas também pode ser a causa de problemas para a piscicultura. Edwards (1992) e Mara *et al.* (1993), considera o nível ótimo de introdução de nitrogênio total no tanque de piscicultura de 4 Kg NT/ha.dia à uma profundidade de mais ou menos 1,0 m.

Deve-se salientar ainda que, um sistema de lagoas de estabilização em série, incluindo lagoas de maturação, pode atingir níveis de remoção de até seis unidades logarítmicas com relação às bactérias (99,9999%), quatro unidades logarítmicas no caso dos vírus (99,99%) e até 100% no que se refere a cistos de protozoários e ovos de helmintos (Mara *et al.*, 1992).

Em estações de tratamento de esgotos, as características do esgoto afluente e as condições ambientais (principalmente temperatura e insolação) não são constantes, provocando variações na qualidade do tratamento e, conseqüente, mudança na qualidade do efluente gerado. Para o sucesso da piscicultura, com o uso desse efluente, é necessário o controle da queda de qualidade da água com o emprego de técnicas de manejo como: aeração mecânica, modificação da profundidade, modificação do fluxo de água (tempo de retenção hidráulico), dentre outras (Buras, 1993).

Para a criação de peixes, Santos (2003) *apud* Gradwohl (2006) recomenda um tratamento secundário, com filtração por contato, que pode ser um tanque único para nitrificação e desnitrificação, com aplicação de produtos químicos, filtração ascendente por contato, com completo manejo de nitrogênio e fósforo. A remoção de nutrientes é um fator quase

obrigatório no reúso aplicado à piscicultura, principalmente no que se refere à amônia que é tóxica à maioria das espécies em concentrações relativamente reduzidas.

Em experimentos realizados pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), os resultados demonstraram a necessidade da adequação dos projetos de lagoas de estabilização ou dos próprios tanques de piscicultura, com o objetivo de controlar as concentrações de amônia no meio líquido em questão (Bastos *et al.*, 2003^c).

Souza (2002, 2003) observou que, os valores de amônia ficaram entre um mínimo de 6,38 mg/L e um máximo de 17,83 mg/L . Sendo esses, maiores que o recomendado por Buras *et al.* (1987) que estabeleceram valores máximos para tilápia de 8 mg/L de NH_4^+ , sendo o teor de amônia fator importante para a sobrevivência dos peixes.

De fato, valores altos de amônia total foram observados também por Felizatto *et al.* (2000) e Felizatto (2000), em média 8,11 mg/L , sendo um pouco maiores que o preconizado por Buras *et al.* (1987) e se, considerando de forma isolada, possivelmente contribuiu de forma direta para o alto índice de mortandade observado nesta pesquisa.

Apesar da alta concentração de amônia observada na pesquisa de Felizatto (2000), Souza (2002, 2003) estudou a toxicidade do efluente da ETE Samambaia na qual os cálculos mostraram 20% de mortes para o teste crônico e porcentagens de mortandades inferiores a 10% para testes agudos. Assim, concluiu-se que, para testes preliminares e definitivos realizados com alevinos e larvas de tilápia do Nilo, respectivamente, o efluente da ETE Samambaia não apresenta toxicidade aguda e nem crônica para esse organismo, quando cultivados em condições controladas *in vitro*.

Com isso, constata-se que, dentre as possíveis causas da mortandade observada em estudos anteriores, esteja havendo uma combinação de fatores, como baixo oxigênio dissolvido, alto teor de amônia, valores altos de pH e interferências climáticas (temperatura, precipitação, etc), contribuindo diretamente para a morte de peixes.

Como o objetivo deste trabalho é o reúso de água, tudo que aumente seu custo de implantação é descartado. Optou-se por construir uma torre de arraste de amônia baseada em aeradores do

tipo bandejas, haja vista que nesse caso não se teria gasto com energia, pois o escoamento é realizado por gravidade. Apesar de esses aeradores serem mais indicados para remoção de compostos de ferro e manganês, nessa pesquisa, foi construído com a finalidade de remover o excesso de amônia encontrado no sistema por volatilização uma vez que, o oxigênio do ar é absorvido na hora da queda (feita por gravidade) para auxiliar na remoção.

3.6.5.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Outro parâmetro de fundamental importância no controle da qualidade da água para a piscicultura é o pH. Seu efeito sobre os peixes é geralmente indireto, ao influir na solubilidade, forma e toxicidade de diversas substâncias (Bevilacqua *et al.*, 2006).

O pH afeta o equilíbrio de NH_4^+ e NH_3 . Em pH menor que 7, a fração de NH_4^+ da reação de equilíbrio será predominante, mas pode apresentar queda na reprodução. Já com um pH mais alto, a fração de NH_3 aumenta, podendo atingir concentrações tóxicas para os organismos aquáticos. Em água doce, a porcentagem de cada forma de amônia está determinada, basicamente, pelo pH e, em menor grau, pela temperatura do meio (Arana, 1997). Em pH elevado (acima de 9) pode haver uma considerável precipitação de fósforo, devido à formação de fosfato insolúvel.

Boyd (1990) reporta que, a intensa atividade do fitoplâncton durante o dia retira o CO_2 dissolvido na água causando um aumento do pH e, conseqüentemente, de amônia não ionizada (NH_3).

Trabalhando em lagoas de estabilização Pereira (2000) *apud* Pereira (2004) observaram no ciclo de 24 horas que o pH durante o dia chegou a 8,5 e durante a noite chegou a 7,0. Os valores encontrados de pH estão dentro de uma faixa considerada ideal para a piscicultura por Proença e Bittencourt (1994), que consideram a faixa ótima de pH entre 6 e 9.

3.6.5.3 Temperatura

A temperatura não é considerada um parâmetro químico de qualidade da água e sim físico, no entanto desempenha papel fundamental sobre os organismos aquáticos e os demais

parâmetros químicos. Pode ser limitante numa grande variedade de processos biológicos, como velocidade de reações químicas até a destruição ecológica de uma espécie animal.

Boyd (1990) cita que, a temperatura exerce papel fundamental no metabolismo e comportamento biológico dos peixes, influenciando na sua alimentação, atividade reprodutiva e crescimento, pois são animais de sangue frio e a temperatura de seus corpos é semelhante àquela do meio em que vivem.

Pereira (2004) reporta que as espécies tropicais (como as tilápias) têm entre 20°C e 30°C sua faixa ideal de conforto térmico para crescimento e reprodução. Já outros autores (Kubitza, 1999^{a,b}; Kubitza, 2000 e Kubitza e Kubitza, 2000) recomendam um conforto térmico para espécies tropicais entre 27 a 32°C. Com temperaturas inferiores a 20°C normalmente afetam o metabolismo diminuindo o apetite, aumentando os riscos de doenças e reduzindo a taxa de crescimento. Quanto à temperatura letal, esta irá variar muito entre as espécies, entretanto, no inverno a conversão alimentar das tilápias piora sensivelmente.

3.6.5.3.1 Estratificação Térmica

Segundo Boyd (1990) lagos e tanques de aquicultura podem estratificar-se termalmente, pois o calor é absorvido mais rapidamente perto da superfície do corpo de água, e essa, quando relativamente quente, tende a permanecer na superfície pelo fato de ser menos densa. A estratificação ocorre quando a diferença de densidade entre a camada superior e inferior é tão grande que o vento não é capaz de misturá-las.

Conforme Rana (1990) *apud* Arana (1997), a temperatura tem um efeito importante sobre o desenvolvimento embrionário e a sobrevivência de *Oreochromis niloticus*. Eles observaram que, para alcançar um ótimo desenvolvimento de todos os estágios embrionários e altas taxas de eclosão, os ovos deveriam ser incubados a temperaturas de 25 a 30°C, estando, assim, próximo da faixa recomendada por Kubitza (1999^{a,b}); Kubitza (2000) e Kubitza e Kubitza (2000).

3.6.5.4 Oxigênio Dissolvido (OD)

De acordo com Valenti (2000) o oxigênio dissolvido é, sem sombra de dúvidas, o elemento de fundamental importância como fonte de energia para que o alimento ingerido seja adequadamente processado pelas vias metabólicas durante o processo da assimilação dos nutrientes. As necessidades vitais de oxigênio variam muito com as espécies. Devem sempre estar superiores a 5 mg/L, para proporcionar um bom desempenho aos peixes.

Pereira (2000) *apud* Pereira (2004), analisando o ciclo de 24 horas de lagoas de estabilização, observou que o percentual de supersaturação de oxigênio dissolvido dos dias ensolarados pode ultrapassar até 300%. Segundo Pavanelli *et al.* (1999), os peixes suportam até 300% de supersaturação de oxigênio, ocorrendo maior ou menor mortalidade conforme o estágio de vida dos peixes (as larvas morrem mais facilmente) com a ocorrência da “doença das borbulhas”.

A grande quantidade de algas existentes nas lagoas de estabilização produz oxigênio capaz de causar supersaturação durante o dia, mas durante a noite, devido à respiração, as concentrações de oxigênio dissolvido chegam a ser menores do que 1 mg/L (Pereira, 2004). Proença e Bittencourt (1994) observaram que, a maior parte dos peixes morrem quando o teor de oxigênio dissolvido é igual ou inferior a 1 mg/L. Entre 1 e 3 mg/L está o nível sub-letal, quando os peixes gastam muita energia para respirar e não crescem.

As cargas orgânicas afluentes aos tanques de piscicultura ou às lagoas de estabilização (de polimento ou de maturação) influem de forma determinante, na oxigenação da água. Moscoso *et al.* (1992^a) apontam que, de forma a garantir um adequado equilíbrio entre a produtividade, crescimento dos peixes e demanda de oxigênio, as taxas de aplicação superficial devem ser da ordem de 10-20 kg DBO₅. ha⁻¹. dia⁻¹. Nesses ambientes podem ocorrer intensas variações espaciais e temporais de OD, decorrentes das atividades de fotossíntese, respiração e decomposição. Tais variações podem envolver a crescente saturação de OD, até supersaturação, nas camadas superficiais e nas horas de maiores incidências solares, seguidas de queda intensa durante a noite (Pavanelli *et al.*, 1999).

Quando os níveis de oxigênio dissolvido (OD) se encontram muito baixos nos tanques de aquicultura, os organismos cultivados podem estressar-se e até mesmo morrer, ocorrendo a necessidade de se utilizar aeradores mecânicos para suprir o déficit. (Boyd, 1990).

3.6.5.5 Salinidade e Condutividade

Araújo (1999) ressalta que, a salinidade de uma água está diretamente relacionada com a concentração de sais solúveis presentes na mesma, ou seja, quanto maior for a concentração de eletrólitos na água, maior será a capacidade dessa água conduzir uma corrente elétrica. Santos (1997) *apud* Pereira (2004) reportam que, este parâmetro também fornece importantes informações sobre o metabolismo do ecossistema, ajudando a detectar fontes poluidoras nos sistemas aquáticos. Na piscicultura (Silva *et al.*, 2001), preconiza valores desejáveis na faixa de 0,02 a 0,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Bastos *et al.* (2003^c) relata que, valores elevados de condutividade podem indicar acentuada decomposição e salinidade excessiva sendo prejudicial aos peixes, enquanto que valores baixos podem evidenciar intensa produção primária. A condutividade pode ser utilizada como indicador indireto de disponibilidade de nutrientes.

3.6.5.6 Clorofila-a

Wollenweider e Kereks (1982) *apud* Bevilacqua *et al.* (2006) relatam que a clorofila-a é uma medida da produtividade primária e do estado trófico de um ambiente aquático. Vários modelos são propostos associando a concentração de fósforo total e a densidade fitoplanctônica (medida pela concentração de clorofila-a), sempre com a ressalva de que esta relação é específica para cada ambiente aquático.

De acordo com Sipaúba-Tavares (1994), se encontram valores de clorofila-a em viveiros de peixes não-fertilizados e fertilizados na ordem de 3-100 mg/m^3 e 100-800 mg/m^3 , respectivamente. Conforme reportado por von Sperling (2002), em lagoas facultativas as concentrações de clorofila-a dependem da carga orgânica aplicada e da temperatura, podendo citar valores na faixa de 500 a 2.000 $\mu\text{g}/\text{L}$.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, é apresentada a metodologia adotada na pesquisa, focando, principalmente, no método de alimentação dos tanques piscícolas, devido ao seu grau de importância no desenvolvimento de estudos realizados anteriormente no mesmo local.

A parte experimental foi desenvolvida na Estação de Tratamento de Esgotos de Samambaia, de propriedade da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), localizada no km 40 da Rodovia DF 180/BR 060. A unidade de piscicultura de Samambaia (UPS) apresenta as coordenadas geofísicas de 15°52'5.17''S de latitude e 48°8'55.74''O de longitude obtidas por meio do programa Google Earth.

4.1 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE SAMAMBAIA

4.1.1 Descrição da ETE Samambaia

A ETE Samambaia, quando entrou em operação em 1996, era composta por tratamento preliminar e dois módulos de três lagoas cada, operando em paralelo, sendo cada módulo formado por reator anaeróbio acoplado à lagoa facultativa, lagoa de alta taxa e de polimento final ou maturação. Atualmente, além do que foi descrito, anexou-se à ETE o sistema “terciário” compreendido por mistura rápida (calha Parshall) seguido de Floculação Mecânica e Flotação por Ar Dissolvido (FAD), como decorrência de que o efluente da ETE é despejado no Rio Melchior, o qual é afluente ao sistema Corumbá IV, que servirá segundo sua concepção, para abastecimento de água do Distrito Federal.

A referida ETE foi projetada para tratar uma vazão média de 450 L/s. Essa vazão, segundo Pinto *et al.* (1997) e Felizatto (2000), corresponde a uma população de 180.000 habitantes e a um tempo de detenção hidráulica médio em torno de 15 dias. Atualmente, a ETE opera com uma vazão média de 281,7 m³/s e tempo de detenção hidráulica médio de, aproximadamente, 13 dias. A Tabela 4.1 apresenta os dados mensais medianos de vazão da ETE Samambaia no período da pesquisa.

Tabela 4.1: Dados de vazão, (média mensal) de novembro de 2007 a abril de 2008.

Mês	Vazão (m ³ /dia)	V _M	V _m	S ²	By-pass (dias)	n
Novembro/2007	16787	39105	2924	7923	8	22
Dezembro/2007	19092	37867	2248	8272	0	31
Janeiro/2008	18249	31113	1624	8413	7	24
Fevereiro/2008	22921	39810	1869	7973	0	29
Março/2008	18218	26347	5064	5820	6	23
Abril/2008	24343	32332	19368	2477	0	30

Legenda: V_M = valor máximo, V_m = valor mínimo, S² = desvio padrão e n = número de amostra

Nota-se, pela Tabela 4.1, que a ETE Samambaia apresentou um funcionamento contínuo, realizando *By-pass* poucas vezes no período desse experimento, o que, de fato, não provocou maiores interferências nos resultados da pesquisa.

4.1.2 Tratamento Preliminar

A estação possui tratamento preliminar composto seqüencialmente de: 1) uma grade grosseira de abertura de 50 mm (com limpeza manual); 2) uma Calha Parshall de 1,52 metros (5 pés) dotada de medidor ultra-sônico de nível d'água, para medir a vazão afluyente instantânea e acumulada; 3) três Esteiras de Peneiramento Mecânico de abertura de 6 mm (em paralelo); 4) três Desarenadores Circulares com 11 metros de diâmetro, com o bombeamento do descarte de fundo por bomba e 5) três Transportadores e Classificadores de areia do tipo "lamelar" (Felizatto *et. al.*, 2008). A Figura 4.1 (mais adiante) mostra o esquema de funcionamento da ETE Samambaia.

4.1.3 Sistema Reator de Fluxo Ascendente, acoplado com Lagoa Facultativa

Após passar pelo tratamento preliminar, o esgoto é encaminhado para cada módulo de lagoas. A primeira é composta por um reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo com configuração da CAESB, integrado na lagoa facultativa, onde ocorre decomposição da matéria orgânica. Esse reator tem uma zona mais profunda com a finalidade de auxiliar na remoção de sólidos em suspensão. Essa lagoa apresenta tempo de detenção hidráulica médio de 6 dias (Felizatto *et al.*, 2008). Depois de passar pelos reatores anaeróbios, o esgoto encontra uma camada oxidante que cobre a parte superior das campânulas (onde são captados

os gases), que é a própria lagoa facultativa, evitando que odores desagradáveis sejam liberados para a atmosfera e incomodem a vizinhança (Felizatto, 2000).

A lagoa facultativa é composta por duas profundidades diferentes, sendo que, nos primeiros 80 m, possui 3 m de profundidade, isto para que possíveis sólidos que vierem a passar do reator para a lagoa decantem, funcionando assim como decantador secundário, e, nos 270 m restantes, possui 1,70 m de profundidade. Essa lagoa foi projetada para ter um tempo de detenção hidráulica em torno de 8 dias, suficiente apenas para garantir a população de algas e o meio oxidante.

4.1.4 Lagoa de Alta Taxa (rasa)

É uma lagoa rasa, de profundidade em torno de 0,5 a 1 m, na qual se tem auxílio de um propulsor mecânico, para que as algas possam utilizar a luz solar, realizando, assim, o processo de fotossíntese, que proporciona elevados níveis de oxigênio. Esse tipo de lagoa foi projetada com a finalidade de remover matéria orgânica (Felizatto *et al.*, 2008). Cada lagoa possui o formato quadrado em planta, com dimensões de 240 m x 240 m, com tempo de detenção hidráulico de 2,6 dias e volume estimado de 55.296 m³ (Felizatto, 2000 e Felizatto *et al.*, 2008).

Cada lagoa de alta taxa da ETE Samambaia é constituída por 4 sub-células, operando em paralelo, ou seja, o efluente da lagoa facultativa sai em 4 pontos e alimenta a de alta taxa. Cada um desses sub-sistemas é constituído por 4 canais de largura de 15 m e comprimento de 240 m, operando em fluxo orbital ou carrossel, com relação comprimento/largura igual a 64.

Em cada uma dessas sub-células, a velocidade da seção é mantida entre 10 a 15 cm/s, e esse pequeno turbilhonamento é feito por intermédio de quatro aeradores do tipo ar-aspirado com bloqueio na entrada de ar. Cada propulsor possui a potência de 7,5 CV, sendo empregado um propulsor por canal (Felizatto, 2000). Em cada sub-sistema da lagoa de alta taxa encontra-se uma recirculação que é realizada, por 24 horas diárias, com o intuito de ter uma mistura da biomassa que, por sua vez, já está adaptada ao sistema com a biomassa bruta (proveniente da lagoa facultativa) formando assim, uma biomassa mais estabilizada. A vazão que é

recirculada, por ser mínima, não é calculada, sendo que o volume de esgoto que vem da lagoa facultativa é o mesmo que sai da lagoa de alta taxa.

4.1.5 Lagoa de Polimento Final (maturação)

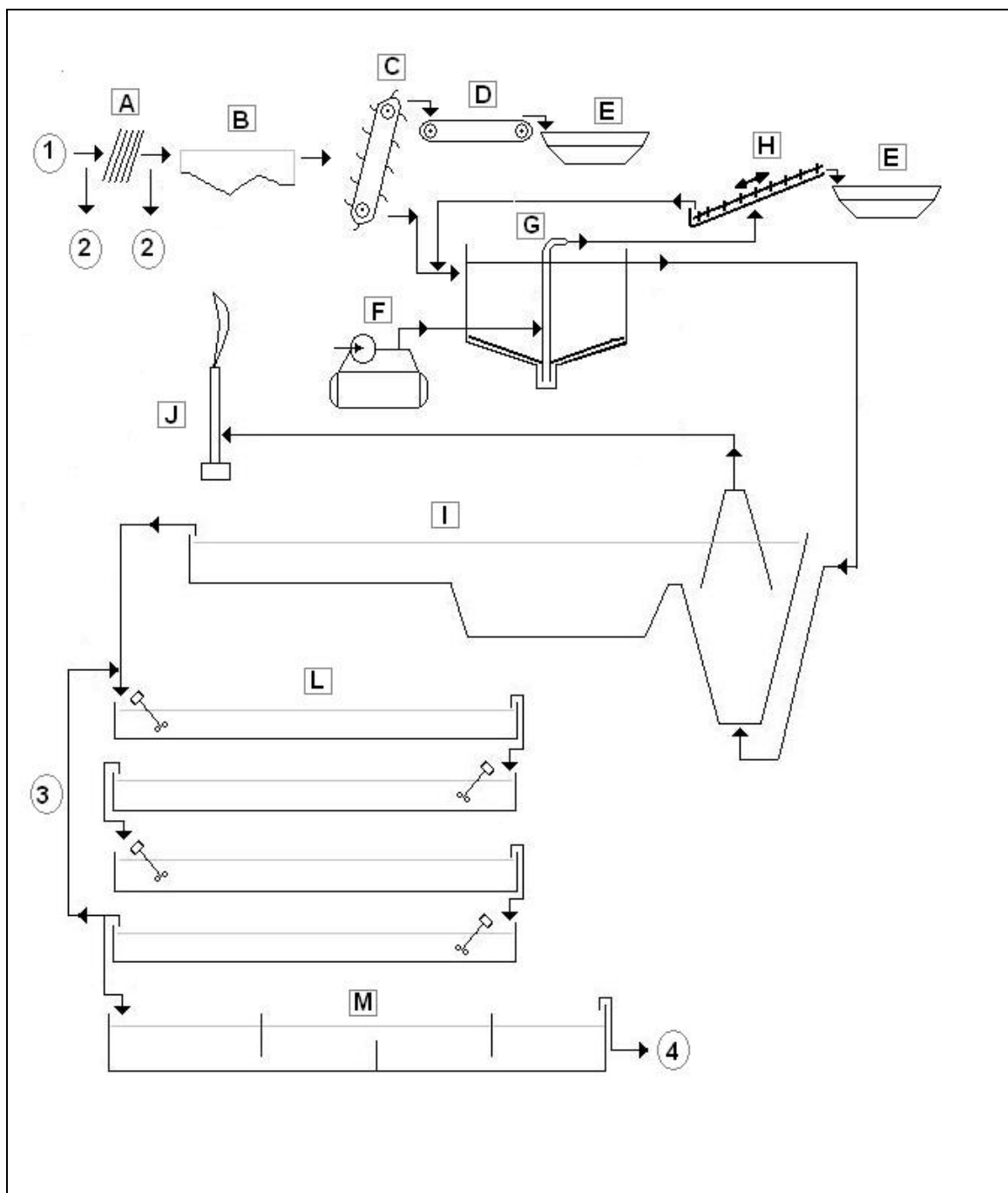
Esta lagoa tem por objetivo completar o tratamento, ao possibilitar um polimento do efluente, pois reduz as concentrações de algas e patógenos que tenham passado ou persistido pelas etapas anteriores. Por terem maior facilidade de decantar, as algas móveis provenientes de lagoas rasas mineralizam-se no fundo da lagoa de polimento (Pinto *et al.*, 1997 e von Sperling, 2002).

Cada célula possui 240 m de largura por 240 m de comprimento. Foram usadas chicanas para melhorar o fluxo hidráulico e, conseqüentemente, a eficácia do processo. A lagoa de polimento é provida de 3 chicanas prevalecendo um canal de 60 m por 960 m de comprimento dando uma relação comprimento/largura igual a 16. A lagoa opera com lâmina d'água de 1,5 m, volume estimado de 86.400 m³ e período de detenção hidráulica estimado em 4 dias, apresenta relação comprimento/largura de 16 (Felizatto, 2000 e Felizatto *et al.*, 2008).

4.1.6 Polimento Químico

Atualmente a ETE Samambaia conta com um sistema de pós-tratamento, etapa designada de Polimento Final Químico, processo constituído das seguintes etapas seqüenciais: coagulação ou mistura rápida efetuada em Calha Parshall, tanque de floculação mecânica e câmara de Flotação por Ar Dissolvido (Indireto) - FAD. A Figura 4.2 mostra o fluxograma de processo do Polimento Final Químico da ETE Samambaia.

Tessele *et al.* (2005) relatam que a flotação por ar dissolvido é uma alternativa importante para a adequação da qualidade da água de efluentes de lagoas de estabilização, especialmente quando tratam-se de lagoas já implementadas, com pouco espaço físico disponível para a etapa de polimento. Esses autores reportam ainda que o processo de coagulação-floculação e flotação por ar dissolvido da ETE Samambaia – para a remoção de algas, fósforo e sólidos suspensos – se mostra viável e apresenta eficiência global superior a 90%. Sendo assim, ele é de suma importância para o complemento do tratamento.

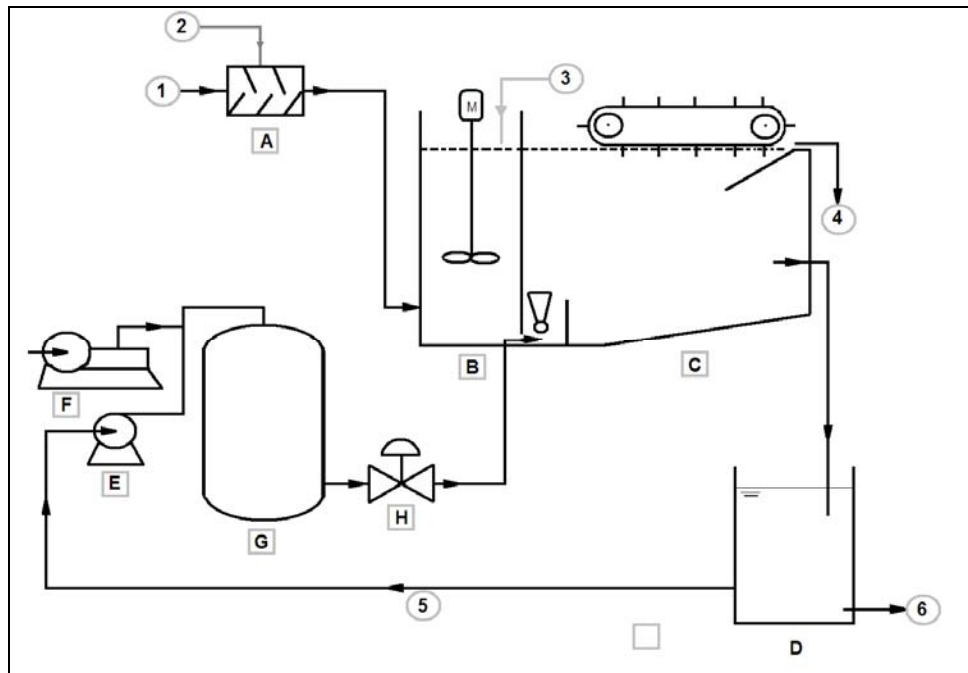


Legenda:

(A)...Grade grossa, (B)...Calha Parshall, (C)...Peneira Rotativa, (D)...Correia Transportadora, (E)...Resíduo (material gradeado ou desarenado) encaminhado para aterro, (F)...Compressor, (G)...Desarenador Circular, (H)...Classificador e Transportador de Areia, (I)...Lagoa Facultativa (UASB / FP), (J)...Queimador de gás, (L)...Lagoa Alta Taxa, (M)...Lagoa de Maturação

(1)...Afluente, (2)...By pass para Lagoa Facultativa ou Rio Melchior, (3)...Reciclo Interno da Lagoa Alta Taxa e (4)...Efluente encaminhado para Polimento Final Químico.

Figura 4.1: Fluxograma de Processo do Sistema Integrado de Lagoas de Estabilização em Série da ETE Samambaia, sem o polimento químico (Felizatto *et al.*, 2008).



Legenda:

(A)...Unidade de Mistura Rápida (Calha Parshall), (B)...Tanque de Floculação Mecânica, (C)...Tanque de Flotação, (D)...Tanque de Armazenamento de Efluente Tratado, (E)...Bomba de Alta Pressão, (F)...Compressor, (G)...Tanque de Saturação e (H)...Válvula de Controle de Pressão.

(1)...Efluente da Lagoa de Maturação, (2)...Adição de Coagulante (Al^{+++} ou Fe^{+++}), (3)...Adição do Coadjuvante de Floculação (Poli-eletrólito), (4)...Lodo Adensado para o Digestor Anaeróbico de Lodo, (5)...Reciclo e (6)...Efluente Final lançado no Rio Melchior.

Figura 4.2: Fluxograma de Processo do Polimento Final Química da ETE Samambaia (Felizatto *et al.*, 2008).

4.1.7 Operação e monitoramento da ETE Samambaia

O monitoramento da ETE Samambaia é feito manualmente por meio de amostras compostas do efluente dos dois módulos das lagoas (facultativa, alta taxa e maturação), a coleta é realizada uma vez por semana com alíquotas de duas em duas horas para a formação da amostra composta. A Tabela 4.2 apresenta os resultados operacionais (medianos, desvio padrão, mínimo e máximo) da ETE Samambaia no período setembro de 2005 a fevereiro de 2007.

Nota-se pela Tabela 4.2 que os dados operacionais da ETE Samambaia para a lagoa de polimento final apresentaram valores médio elevados para o parâmetro nitrogênio total e amônia, sendo esse último fator limitante para a criação de tilápia nesses efluentes.

Tabela 4.2: Dados operacionais da ETE Samambaia de novembro de 2007 a abril de 2008 (n=27).

Parâmetro	AFL		LP	
	\bar{X}	S ²	\bar{X}	S ²
pH	7,0	0,1	7,9	0,1
Alcalinidade (mg/L)	148,7	55,0	117,5	13,2
DQO (mg/L)	515,0	97,6	140,4	30,0
DBO (mg/L)	395,7	108,3	32,9	11,9
NTK-N (mg/L)	54,1	18,8	26,9	5,3
P _i -P (mg/L)	12,9	11,0	8,3	1,7
SS (mg/L)	245,1	63,5	73,5	16,7
NH ₄ ⁺ (mg/L)	(-)	(-)	24,7	4,7
PO ₄ -P (mg/L)	(-)	(-)	5,8	1,4
CF (NMP/100 mL)	2,75E+07	5,57E+07	2,73E+04	4,19E+04

Legenda: AFL = dados afluente a ETE, LP = dados da lagoa de polimento final módulo II, S² = desvio padrão, \bar{X} = valores medianos, n = tamanho amostral, (-) dados não disponíveis.

4.2 CLIMA DA REGIÃO DE ESTUDO

O clima do Distrito Federal, segundo a classificação de Köppen, enquadra-se entre os tipos tropical de savana e temperado chuvoso de inverno seco e caracteriza-se por duas estações bem nítidas: uma chuvosa e quente, do outubro a abril, e outra, fria e seca, de maio a setembro. Os meses mais chuvosos da região são novembro, dezembro e janeiro, com uma precipitação média anual de 1600 mm. A temperatura anual varia em média de 18 a 22 °C, sendo os meses de setembro e outubro os mais quentes, com superiores a 22 °C. Julho é o mês mais frio, com temperaturas médias entre 16 e 18 °C. As temperaturas absolutas mínimas de até 2 °C e máxima de 33 °C são registradas, respectivamente, no inverno e no início do verão. Em setembro registram-se as médias mais baixas de umidade relativa do ar (GDF, 2004).

4.3 UNIDADE DE PISCICULTURA DE SAMAMBAIA (UPS)

A unidade de piscicultura da ETE Samambaia existe desde 2000 quando foi construída para a pesquisa de Felizatto (2000), sendo composta naquela época por dois tanques. Durante a pesquisa de Machado (2006) foi construído um terceiro tanque que recebe água potável.

A área de superfície de fundo dos tanques de piscicultura de 100 m² foi adotada por Felizatto (2000) na construção dos tanques, sendo baseada em Bocek (1996^{a,b}), cujo estudo verifica

que esse é o valor mínimo para tanques piscícolas, do ponto de vista econômico-financeiro. Na construção do terceiro tanque, Machado (2006) seguiu as mesmas recomendações.

Os tanques possuem forma de tronco de pirâmide, com área mais profunda equivalente a 100 m² (10 x 10 m), 169 m² na área do espelho d'água (13 x 13 m) e profundidade total de 1,70 m (borda livre de 0,50 a 1,50 m) (Felizatto, 2000 e Machado, 2006). A Figura 4.3 mostra uma visão panorâmica da unidade piloto de Samambaia.



Figura 4.3: Vista da Unidade de Piscicultura de Samambaia (UPS) (Machado, 2006).

A distribuição do efluente da lagoa de polimento final da ETE para os dois tanques abastecidos com esgoto (T1 e T2) é realizada de forma equalizada por orifícios submersos. Na sua construção Felizatto (2000), percebeu a necessidade de se completar o canal de distribuição da vazão para evitar a presença de anfíbios, larvas ou girinos nos tanques de cultivo. Esse fato é muito comum e observado nas primeiras chuvas (em meados de setembro), ocorrida na ETE Samambaia, podendo entupir o canal de distribuição e, até mesmo, alterar o habitat dos peixes cultivados no tanque. A alimentação do tanque T3 foi feita por meio de uma mangueira em PVC de 32”.

O sistema de saída do efluente dos tanques piscícolas foi realizado por saídas do tipo monge (Figura 4.4). Essas saídas desempenham papel fundamental na piscicultura, uma vez que elas são responsáveis pelo descarte da água de qualidade inferior (fundo), em termos de oxigênio

dissolvido e sólidos sedimentáveis. São dotadas de telas de proteção, feita de chapa moeda com abertura de 25 mm e, por cima dessa tela existe outra, de abertura inferior, feita de metal e tem por objetivo evitar a “fuga” de peixes.

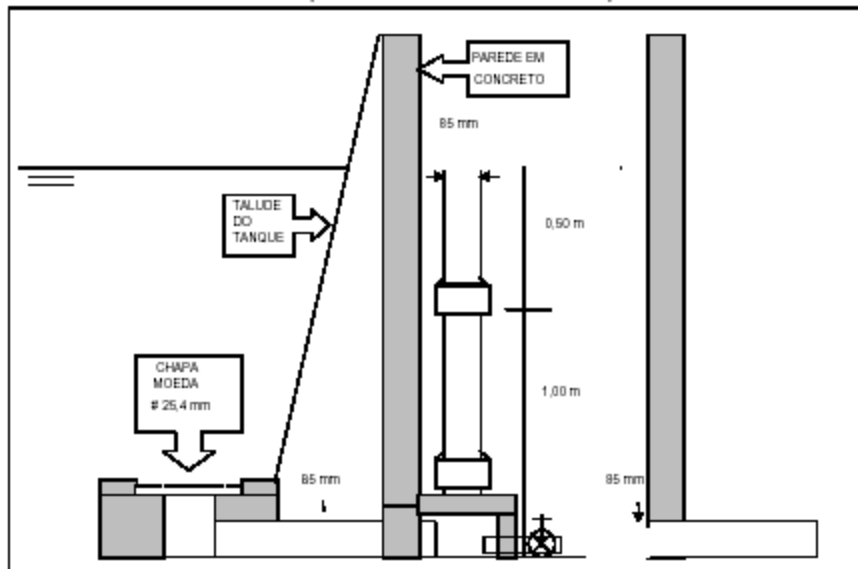


Figura 4.4: Croqui da saída do tipo monge dos tanques das UPS vista em corte, sem escala (Felizatto, 2000).

A saída do tipo monge conduz o efluente dos tanques até o emissário da estação de tratamento. Possui uma escada interna na lateral, tipo marinheiro, feitas em ferro galvanizado, que propicia maior segurança ao operador caso necessite realizar algum procedimento na caixa de fundo e, também, permite controlar a profundidade do nível de água dos tanques.

Outra vantagem dessa saída é que a 20 cm do fundo tem fixado ao piso uma caixa e há um conduto de ferro que conecta o lado da bolsa do tubo no registro de esfera (Machado, 2006). Devido a este fato, pode-se operar os tanques a uma profundidade de 1,5 m.

4.3.1 Escolha da água de alimentação dos tanques

Em pesquisas desenvolvidas anteriormente, não havia a existência do tratamento terciário na ETE Samambaia. Na presente pesquisa optou-se por dar continuidade, utilizando o mesmo efluente por dois motivos, os quais são: 1) por ser um efluente rico em fitoplâncton favorecendo a criação dos peixes, e 2) pela infra-estrutura implantada no sistema, com a

ligação do canal de distribuição de vazão todo construído da lagoa de polimento final do módulo II, possibilitando reduzir gastos e otimizar o tempo.

A alimentação do tanque T3, inicialmente, era para ser com água natural do córrego localizado próximo à ETE, assim seria possível simular um ambiente mais próximo da realidade aquática. Contudo, não foi possível realizar essa alimentação e optou-se em encher T3 com água potável da CAESB, pois já havia no local torneira instalada e mangueira para a alimentação.

4.3.2 Arranjo e terminologia dos tanques piscícolas

Como dito anteriormente, o sistema é composto por três tanques. A nomenclatura utilizada nessa pesquisa foi: (A) T1 – tanque alimentado com esgoto tratado da lagoa de polimento módulo II da ETE Samambaia –, (B) T2 – tanque alimentado com esgoto tratado da lagoa de polimento módulo II da ETE Samambaia mais um lote de peixes escolhido – e (C) T3 – tanque abastecido com água potável da CAESB e um lote de peixes, chamado também de tanque controle.

O arranjo utilizado é especificado na Tabela 4.3. Optou-se por trabalhar com o terceiro tanque sendo testemunha/controle para comparar a evolução dos resultados com a piscicultura convencional.

Tabela 4.3: Arranjo dos tanques piscícolas.

TANQUES	CULTIVO	ALIMENTAÇÃO DOS TANQUES	ALIMENTAÇÃO DE PEIXE
T1	Sem peixes	Efluente tratado na LPF módulo I	--
T2	Com peixes	Efluente tratado na LPF módulo I	Sem ração
T3	Com peixes	Água tratada da CAESB	Com ração

Legenda: LPF = Lagoa de Polimento Final.

A Figura 4.5 mostra um desenho esquemático em planta da Unidade de Piscicultura de Samambaia (UPS), onde é possível visualizar, principalmente, o canal de distribuição e o tamanho dos tanques de cultivo no layout da unidade piloto.

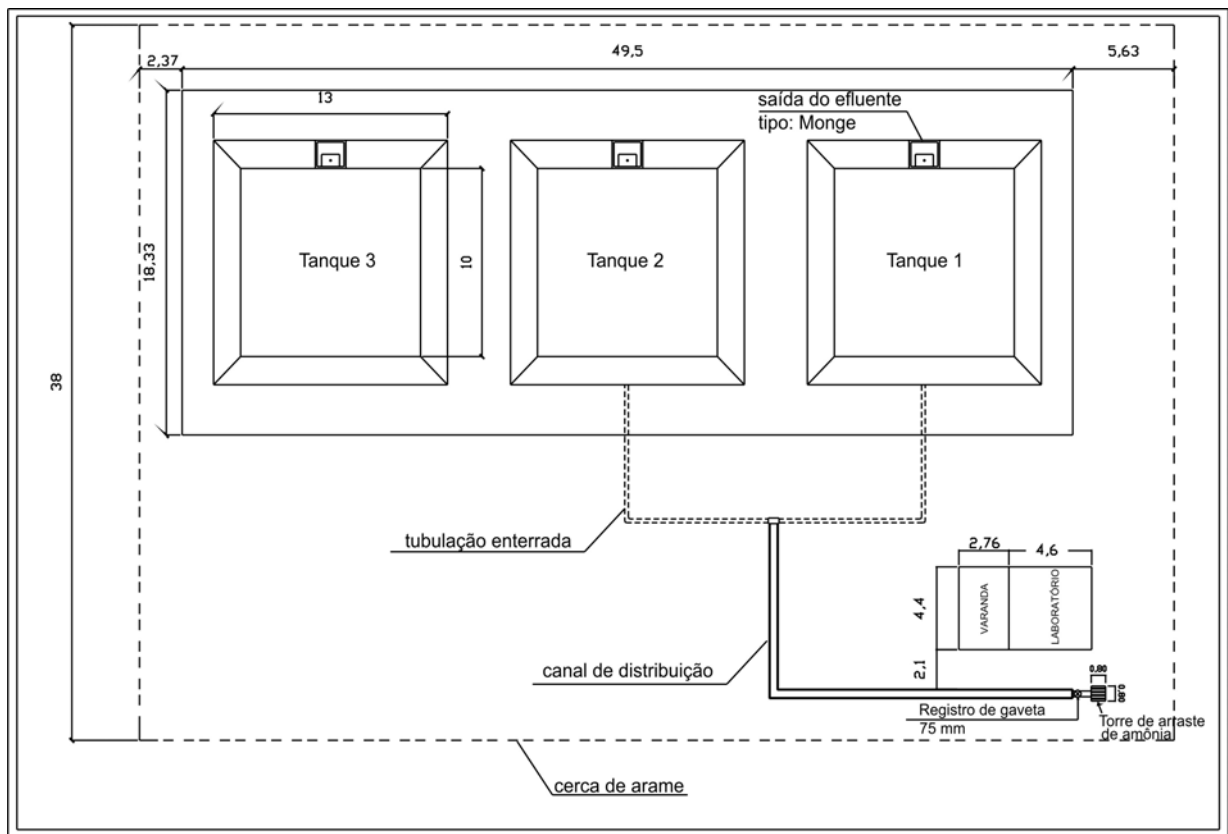


Figura 4.5: Desenho esquemático da estação piloto de Samambaia (unidade em metro).

4.4 ESPÉCIE ESCOLHIDA – TILÁPIA DO NILO

Escolheu-se trabalhar com espécie tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), pois trata-se de uma das espécies de água doce mais cultivada em viveiros. No Brasil, a tilápia é o peixe mais cultivado devido à rusticidade, rápido crescimento e carne de ótima qualidade, com produção superior a 75.000 toneladas/ano (Borges, 2004).

Além disso, a tilápia do Nilo aparentemente apresenta uma grande habilidade em filtrar as partículas do plâncton. Desse modo, quando cultivada em viveiros de água verde, a tilápia do Nilo geralmente supera em crescimento e conversão alimentar das demais espécies de tilápia (Kubitza, 2000). Evita-se, portanto, o risco de mortandade, possibilitando verificar a influência dessa espécie na melhora do efluente usado.

Moscoso (1998) trabalhou com lagoas terciárias, quaternárias e pentárias para o cultivo das espécies de peixes tilápia do Nilo e carpa comum e do crustáceo camarão da Malásia. Os resultados permitiram definir que: (a) as condições ambientais das lagoas quaternárias eram

satisfatórias para a sobrevivência e crescimento dos peixes tilápia do Nilo e carpa comum, mas não para o camarão da Malásia, (b) a tilápia foi a espécie que melhor adequou ao experimento, e (c) as análises microbiológicas, parasitológicas e toxicológicas mostraram que não existe impedimento para destinar os peixes ao consumo humano, quando cultivados em efluentes com concentração de coliformes termotolerantes inferiores a 10^4 (NMP/100 ml).

Muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos usando essa espécie (tilápia) consorciada com efluentes de lagoas de estabilização. No Brasil, podem-se citar Matheus (1984 e 1993), Kubitzka (2000), Felizatto (2000), Souza (2002), Bastos (2003) e Machado (2006). As diversas características que levaram esses autores a escolher a tilápia do Nilo, foram:

- (1) A tilápia explora todos os itens básicos da cadeia trófica, aceitando uma grande variedade de alimentos;
- (2) A tilápia responde com a mesma eficiência a ingestão de proteínas de origem vegetal e animal;
- (3) A tilápia apresenta resposta positiva à fertilização (adubação) dos viveiros;
- (4) É uma espécie que tem grande capacidade de filtrar fitoplâncton;
- (5) A tilápia é bastante resistente às doenças, superpovoamentos, e baixos teores de oxigênio dissolvidos e
- (6) É uma espécie que desova durante boa parte do ano nas regiões mais quentes do país.

4.5 DURAÇÃO DO EXPERIMENTO E DENSIDADE DE ESTOCAGEM

Optou-se por trabalhar com um ciclo de cultivo da espécie tilápia do Nilo, que dura entorno de aproximadamente 4 meses completos. A Tabela 4.4 resume as principais considerações a respeito do cultivo de tilápia em lagoas, viveiros e campos de arroz, conforme Bocek (1996^c). A condução da presente pesquisa foi baseada nas informações da Tabela 4.4.

A densidade de estocagem varia em função da espécie em cultivo e da biomassa econômica do sistema. Com o aumento na densidade de peixes, aumenta a competição entre eles por alimento e, ainda, há uma piora na qualidade da água no ambiente (Ono e Kubitzka, 1997).

Tabela 4.4: Principais Considerações a Respeito do Cultivo de Tilápia em Lagoas, Viveiros e Campos de Arroz (Bocek, 1996^c).

Considerações	Tipos de Cultivo		
	Lagoas	Viveiros	Campo de Arroz
1) Métodos de Cultivo			
Sexo misturado	Sim	Sim	Sim
Único sexo	Sim	Sim	Sim
Policultivo	Sim	Sim	Sim
Integrado com safra	Sim	Sim	Sim
Integrado com criação	Sim	Sim/Não	Sim
2) Área mínima para a unidade de cultivo			
	100 m ²	1 m ³	100 m ²
3) Taxa de Estocagem de Método de Cultivo(*)			
Sem fertilização ou alimentação	---	---	0,3
Somente fertilização	1 – 2	50 – 100	0,3 – 0,5
Somente alimentação	1 – 2	250 – 500	0,3 – 0,5
Fertilização e alimentação	2	250 – 500	1 – 2
4) Período de Cultivo em Meses			
	4 – 6	4 – 6	Variável
5) Produção Média por safra (***)			
	1 – 4 mt tons	5 – 50 Kg	300 – 500 Kg
6) Peso de Estocagem da Tilápia(**)			
Ambos os sexos cultivados	5 – 15g	10 – 15g	5 – 15g
Um único sexo cultivado	20 – 40g	20 – 40g	20 – 40g
7) Peso Médio por safra			
Ambos os sexos cultivados	50 – 100g	80 – 150g	50 – 100g

* Lagoas e campos de arroz são estocados no fundamento de peixes/m² de área superficial e viveiros em m³.

** Tilápia com no mínimo de 20g são necessárias para o cultivo com um único sexo.

*** Lagoas e campos de arroz são calculados no fundamento de 1/ha e em viveiros 1/m³.

Nesse sentido, escolheu-se trabalhar com tilápias de ambos os sexos cuja taxa de estocagem é de aproximadamente 2 peixes/m², tanto para os cultivos sem fertilização (T2) como para os cultivos com alimentação tradicional (T3). A sobrevivência dos alevinos em condições adversas é mais difícil, em concordância com o reportado por Bocek (1996^c), os peixes foram transferidos para o tanque com esgoto (T2) quando apresentaram peso médio de 10 gramas.

A escolha de se trabalhar com espécies não revertidas sexualmente baseou-se em alguns fatores: (a) pesquisas anteriores realizadas na Unidade de Piscicultura da Samambaia (UPS) - Felizatto (2000) e Machado (2006) - trabalharam somente com machos e obtiveram um índice de mortandade alto, (b) tinha-se o intuito ao trabalhar com ambos os sexos (machos e fêmeas) de conseguir produzir uma cepa mais resistente, ao passo que iam se reproduzindo e os filhotes já nasciam adaptados às condições extremas as quais eram submetidos, e (c) verificar a questão de espalhar hormônio na natureza, uma vez que para se conseguir a reversão é usada uma dosagem alta de hormônios para se produzir um plantel só de machos.

4.6 ESTUDOS E TRABALHOS PRELIMINARES

A primeira ação realizada foi uma vistoria no local onde se verificaram as condições dos tanques piscícolas, em razão de que os tanques não estavam em operação desde o final da última pesquisa realizada, em março de 2006. Notou-se então, a necessidade de reformar os dois tanques que receberiam esgoto (T1 e T2).

4.6.1 Reforma dos tanques

O primeiro tanque a ser reformado foi o tanque T1 (Figura 4.6), onde trocou-se todo o revestimento do tanque, sendo este refeito com cimento e areia na proporção de 1:2. Antes os tanques eram impermeabilizados com essa mistura somente até 1/3 das bordas, porém para essa pesquisa optou-se por revestir toda a lateral do tanque e apenas o fundo ficar com lona preta de 150 micra. A finalidade dessa escolha foi para impedir o escape de peixes, já que a tilápia quando está em fase de desova faz buracos para evitar que outros peixes comam os alevinos.



(A)



(B)

Figura 4.6: Reforma do tanque T1 - (A) limpeza manual do tanque com sucção por caminhão limpa-fossa, (B) tanque limpo, pronto para retirada da lona.

Após esse período, reformou-se o tanque T2 (Figura 4.7) na mesma proporção anterior. Entretanto, foi utilizado mais material, esse maior gasto foi pelo fato desse tanque estar em condições piores que o anterior. Assim, foi necessário fazer remendos nas telas de proteção do T1 e limpeza no canal de alimentação.



(A)



(B)

Figura 4.7: Reforma do tanque T2 - (A) esvaziamento do tanque para limpeza, (B) tanque limpo começando a retirada da lona para reforma.

O tanque T3, que recebeu água potável da CAESB, não foi reformado, pois não apresentava rachaduras e, portanto, foi necessário remendar apenas a tela de proteção.

4.6.2 Torre de arraste de amônia

Diante dos resultados das pesquisas realizadas utilizando efluente de lagoas de estabilização para criação de peixes, observa-se que, nas recomendações feitas pelos diversos autores, quase que por unanimidade há necessidade de se adequar o tratamento utilizado. Mesmo quando o efluente se enquadra nos padrões admissíveis para o reúso em piscicultura, é necessário reduzir amônia (tóxica para os peixes), a carga de fitoplâncton, e, principalmente, sólidos suspensos totais.

Nessa pesquisa, pelos fatos observados, foi preciso realizar um estudo para verificar a melhor opção em termos de eficiência e economia, com o objetivo de reduzir amônia e fitoplâncton, em decorrência dos elevados valores de amônia encontrados anteriormente por Felizatto (2000) e Machado (2006). Esses valores sempre estiveram no efluente da ETE Samambaia acima do recomendado na literatura (2 mg/L) para reúso em piscicultura, o que provavelmente influenciou de forma direta no alto índice de mortalidade observado nessas pesquisas.

Optou-se então por construir uma torre de arraste de amônia, semelhante ao aerador de bandejas, sendo assim nomeada pelo objetivo a que foi proposta. Escolheu-se esse sistema, por ser o mais econômico, visto que o terreno favorecia a construção desse tipo de aerador, evitando assim gastos com bombas. Outro fator positivo para a escolha do sistema foi o fato de ser o mais indicado para a adição de oxigênio no meio, o que favorece a criação dos peixes.

Primeiramente, foi realizado um levantamento planialtimétrico cadastral por meio de equipamento topográfico do tipo Estação Total (SET650F – *Sokkia*) com a finalidade de elaborar um original topográfico na escala 1:500 para representar o sítio “torre de arraste de amônia” conforme recomendado por Silva Júnior (2003). O levantamento planimétrico foi produzido com apoio de uma poligonal principal constituída de quatro vértices ao redor do sítio em questão. O fechamento linear obtido foi de 1: 25000. O levantamento altimétrico foi concretizado com base nos mesmos vértices da poligonal principal arbitrando-se uma cota inicial igual a C=1000 metros. O fechamento altimétrico alcançado foi de 1:1000. Como resultado desse levantamento se obteve uma planta topográfica (Apêndice E) com curvas de

nível eqüidistantes em 1 metro, bem como, as feições e benfeitorias existentes no local. A Figura 4.8 mostra o sistema de bandejas construído e instalado. A Tabela 4.5 mostra os dados usados para o dimensionamento. O desenho em planta e corte da torre de arraste são mostrados no Apêndice E.

Tabela 4.5: Critérios utilizados para dimensionamento do sistema de arraste de amônia.

Parâmetro	Valores
Vazão média (m ³ /dia) (*)	33
Taxa (m ³ .m ⁻² /dia)	500
Nº de bandejas	4
Lado da bandeja	0,80 m x 0,80 m
Altura da bandeja	0,1 m
Altura total do aerador	2,40 m
Distância da queda do efluente para a 1ª bandeja	0,65 m
Espaçamento entre as bandejas (**)	0,35 m
Diâmetro dos furos	0,01 m
Distância entre furos	0,01 m
Diâmetro médio do cascalho	30 mm
Caixa de coleta	0,9 x 0,9 x 0,5 m
1ª canaleta de distribuição	0,30 m
Canaletas de distribuição	0,10 m

(*) Vazão proposta para o cálculo de uma taxa de 500 m³/m².dia¹, o que equivale a aproximadamente uma lâmina de 10 mm de altura no vertedouro instalado na UPS, (**) altura contabilizada a partir da segunda bandeja.



Figura 4.8: Vista geral do sistema de bandejas aeradas instalado na UPS.

Geralmente, esse sistema é constituído com 3 a 9 tabuleiros ou “bandejas”, iguais e superpostos, distanciados de 0,30 a 0,75 m de altura, através dos quais a água percola. O primeiro tabuleiro (mais alto) serve apenas para distribuir uniformemente a água, sendo executado com perfurações. Os demais tabuleiros são constituídos para que se possa colocar uma camada de pedras, ou seja, material granular, podendo ser coque, brita e/ou cascalho. Essa camada oferece superfície de contato e concorre para acelerar as reações de oxidação.

Os aeradores de tabuleiro são dimensionados na base de 540 a 1630 m³ de água por m² de superfície (em projeção) por 24 horas. Nesse caso, foi projetado para atingir uma taxa em torno de 500 m³/m².dia¹, o que equivale a uma vazão média de 33 m³/dia, vazão essa semelhante a testada por Felizatto (2000) para uma lâmina de 10 mm de altura do vertedouro que se encontra instalado na entrada do canal das UPS.

4.7 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

4.7.1 Fase 1 - Remoção de Nitrogênio Amoniacal

A primeira fase foi dividida em 2 etapas, sendo responsável em testar o sistema de bandejas como sistema de remoção de amônia por volatilização. Nessa fase, operou-se o sistema durante uma semana em regime contínuo, coletando amostra antes (lagoa de polimento) e após (saída do aerador) para verificar o percentual de remoção, uma vez ao dia.

4.7.1.1 Etapa I - Pré-teste (monitoramento da eficiência de redução de NH₄⁺ na coluna de arraste de amônia)

Após a instalação da torre, optou-se por monitorar durante 8 dias – em regime contínuo com a vazão média usada por Felizatto (2000) para uma lâmina de 5 cm no valor de 0,29 L/s – o sistema, e verificar se havia uma remoção suficiente que possibilitasse a criação e, conseqüentemente, a sobrevivência dos peixes. Com o insucesso dessa etapa deu-se prosseguimento à Etapa II.

4.7.1.2 Etapa II - Comportamento de nitrogênio amoniacal no interior de T1 e T2 sem entrada de esgoto tratado

Ao constatar que a torre de arraste de amônia não removia suficientemente nitrogênio amoniacal, naquelas condições de trabalho, para se tornar possível a sobrevivência dos peixes, começou-se a segunda etapa, na qual as alimentações dos tanques de cultivo T1 e T2 foram interrompidas para verificar o quanto seria removido por volatilização.

Nessa etapa ainda não havia sido alocado o lote de peixes em T2, devido a alta concentração de amônio presente no interior dos tanques, os tanque que receberam esgoto tratado funcionaram em sistema fechado como um reator descontínuo para verificar o comportamento de amônio em seu interior, o que poderá ocorrer por meio de reações naturalmente dentro do tanque ou até mesmo por influência solar, vento e temperatura.

Nessa segunda etapa, o sistema foi monitorado diariamente até alcançar o valor de amônio recomendado pela literatura ($8 \text{ mg NH}_4^+/\text{L}$) para a criação de peixes em esgotos tratados, o que demorou 15 dias. Enquanto aguardava-se atingir o valor de amônio recomendado, outros parâmetros, não menos importantes, foram monitorados tais como: oxigênio dissolvido, pH, condutividade e transparência.

Depois de atingir o valor recomendado por Buras (1987) de $8 \text{ mg NH}_4^+/\text{L}$, 300 peixes foram pesados e medidos em 30/10/2008 e foram adicionados ao tanque 2. Neste dia, o baixo valor de amônio ($7,6 \text{ mg/L de NH}_4^+$) associado ao valor razoável de oxigênio dissolvido ($4,5 \text{ mg/L}$) proporcionava um ambiente favorável à sobrevivência dos peixes, tendo sido realizada a transferência de peixes por esse motivo.

Entretanto, observou-se após 24 horas de estocagem em T2 mortalidade de 100% dos exemplares, e, apesar de não ter sido monitorado o oxigênio durante a noite, o aumento no valor de amônio ($9,5 \text{ mg/L de NH}_4^+$) associado a elevação do pH no dia seguinte, pode ter contribuído diretamente para a mortalidade total dos peixes. Com esse fato, notou-se a necessidade de se alterar a metodologia empregada com o intuito de se obter a sobrevivência dos peixes.

4.7.2 Alimentação em batelada – Fase II

Pelo exposto anteriormente, houve necessidade de reformular toda metodologia aplicada. Após uma busca na literatura, escolheu-se seguir o proposto por Mara *et al.* (1993), que fixam uma taxa de 4 Kg NT/ ha.dia no interior do tanque de cultivo. Essa taxa foi estabelecida com base em estudos realizados para projeto de lagoa de peixe alimentada com águas residuárias. Para se manter essa taxa, o sistema de alimentação tem que ser por batelada.

Foi realizada limpeza em T1 e T2, sendo os dois esvaziados e lavados com água potável. Após a limpeza dos tanques de piscicultura (T1 e T2), optou-se por enchê-los com água potável primeiro, antes de começar a dar a entrada de esgoto. Logo depois de estarem cheios com água potável aferiu-se o peso e a medida de 220 peixes, retirados de T3, para alocação em T2. Eles apresentaram tamanho e peso médio de 10 cm e 26 gramas, respectivamente totalizando uma densidade de estocagem de 3 peixes/m².

Contudo, observou-se que, com toda a movimentação para medir e pesar os peixes, eles pareceram “estressados”, e, com o objetivo de tranquilizá-los, eles foram deixados em água potável por 7 dias sem adição de ração e/ou entrada de esgoto ou qualquer outro tipo de alimentação. Assim, quando desse entrada com o efluente da lagoa de polimento os peixes, que estariam com fome, se alimentariam do efluente utilizado. Esse procedimento permitiu verificar se o lote escolhido era válido, pois de acordo com a metodologia proposta por Machado (2006) se houvesse morte de mais de 5% do total de peixes escolhidos seria necessário trocar o lote.

Houve a preocupação com o cloro residual geralmente encontrado em água potável, mas como se trata de uma região ponta de rede constatou-se que o cloro residual era baixo e com a alta volatilização ocorrida no tanque pelo efeito solar o cloro não foi fator limitante para a alocação dos peixes primeiramente na água potável antes da entrada de alimentação com esgoto proveniente da lagoa de polimento final.

Passado o período de teste do lote de peixes escolhidos, teve início a entrada de esgoto em T1 e T2. Na primeira semana o sistema foi operado por 8 horas diárias, pelo fato dos tanques estarem cheios com água potável, então, não tinha nutriente suficiente para os peixes se

alimentarem. No restante do experimento, de segunda a sexta-feira, os tanques de piscicultura foram alimentados por 6 horas diárias, e, aos sábados, por 4 horas diárias. Aos domingos optou-se por não alimentar pelo fato de, em algumas vezes, ter-se excedido a taxa proposta. Esse processo teve a duração de 4 meses, o que equivale a um ciclo de cultivo da espécie em estudo.

4.7.3 Cálculo da vazão de alimentação dos tanques de cultivo

A vazão de entrada dos tanques foi estimada pela equação do vertedouro proposta por Felizatto (2000), como visto na Equação 4.1. Foi montada uma planilha, na qual, com base nos valores de NTK e NO_x , tinha-se o nitrogênio total e, por tentativa e erro, obteve-se a vazão correspondente à taxa de 4 Kg. NT/ ha.d aproximadamente, fixada por Mara *et al.* (1993), seguindo a metodologia escolhida para essa pesquisa.

$$Q = 0,01337 \times L \times H^{1,61002} \quad (\text{Equação 4.1})$$

Sendo:

Q = vazão (m^3/dia)

L = 29,5 cm (largura do vertedouro)

H = altura em cm do vertedouro – valor variável, a depender do valor de NTK obtido.

Para controlar a vazão de alimentação no valor calculado, mediu-se a altura da lâmina (H) do vertedouro com uma régua comum graduada de 20 cm.

4.8 MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

As coletas para análise de água foram realizadas diariamente às 9:00 horas da manhã. O controle nos tanques foi feito diariamente para os seguintes parâmetros: transparência, temperatura, oxigênio dissolvido, NTK, amônia, pH, e condutividade. Os outros parâmetros, coliformes, DBO, DQO, SS, ST, clorofila-a, nitrito, nitrato, ortofosfato e alcalinidade, foram medidos uma vez por semana. A listagem dos métodos de exame e equipamentos usados está discriminada nas Tabelas 4.6.

Tabela 4.6: Equipamentos e métodos de análise utilizados em amostras de água.

Parâmetros	Métodos/equipamento
Transparência	Disco de Secchi
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	Titulação com ácido sulfúrico 0,02 moles/L
Clorofila-a (µg/L)	Extração com solventes e leitura colorimétrica/ Espectrofotômetro marca HACH, modelo DR-4000U, EUA
DBO (mg O ₂ /L)	Manométrico/ Oxtop da Merck
DQO (mg O ₂ /L)	Digestão em refluxo fechado – método titulométrico
Sólidos em Suspensão Totais (mg/L)	Gravimétrico/Balança analítica marca Sartorius modelo Basic, precisão 0,001 g
NTK-N (mg/L)	Digestão com CuSO ₄ +K ₂ SO ₄ / em H ₂ SO ₄ concentrado/Destilação e Titulação com H ₂ SO ₄ 0,02 N
NH ₄ -N (mg/L)	Centrifugação/Colorimétrico com reagente de Nessler
NO _x -N (mg/L)	Método colorimétrico - leitura Espectrofotômetro marca HACH, modelo DR-4000U, EUA
PO ₄ -P (mg/L)	Reação com ácido ascórbico- leitura Espectrofotômetro marca HACH, modelo DR-4000U, EUA
pH	Potenciométrico/ medidor de pH portátil marca DIGIMED, modelo DM 2
Condutividade (µS/cm)	Condutivímetro de bancada, modelo Tecnal, TEC-4MP
OD (mg/L)	Medidor portátil ORION, modelo 4 STAR – Thermo Electron Corporation
Temperatura (°C)	Medidor portátil de - Levellogger modelo 3001 <i>Solinst</i>
CT e <i>E. Coli</i> (NMP/100 mL)	Método do substrato cromogênico / Colilert

As análises foram realizadas segundo as metodologias do *Standard Methods* (APHA, 1999), com exceção da clorofila-a, na qual foi adotado o método de Wood (1985), que se baseia na extração, por solução de clorofórmio e metanol, da clorofila-a retida em filtro de microfibras de vidro de 1,2 micra de diâmetro de poro. A concentração de clorofila-a é determinada em função da equação 4.2.

$$Clorofila(\mu g / L) = \frac{P \times [(Abs_{665}) - (Abs_{750})] \times (F \times V)}{(S) \times (PL)} \quad (\text{Equação 4.2})$$

Sendo:

P = Constante de proporcionalidade em mg.cm/L, derivado do coeficiente de extração molar constante de clorofórmio e metanol (13,2)

F = Fator de correção de unidade (1000 µg/mg)

V = Volume de solução de clorofórmio+metanol usado (10 ml)

Abs₆₆₅ = Absorbância da solução medida em 665

Abs₇₅₀ = Absorbância da solução medida em 750

S = Volume de amostra filtrada em mL

PL = caminho óptico através da solução em cm (espessura da cubeta utilizada) (1 cm)

Todas as análises foram realizadas em amostras coletadas no afluente aos tanques e no interior dos tanques de cultivo, não tendo sido realizada coleta de amostras do efluente dos tanques, pelo fato do sistema ter sido operado em batelada, e, por isso, nem sempre foi possível observar o vertimento do efluente na saída tipo monge.

Como dito anteriormente, a concentração de nitrogênio amoniacal (NH₃) é de suma importância para a sobrevivência dos peixes nos tanques piscícolas. De acordo com Emerson *et al.* (1975), o pH e a temperatura afetam significativamente as proporções entre as diferentes espécies de amônia e alteram a toxicidade dos compostos amoniacais. O cálculo de amônia livre foi feito com base no recomendado por Thurston *et al.* (1981) e como apresentado na equação 4.3.

$$\%NH_3 = \frac{1}{1 + 10[0,09018 + 2729,92/(T + 273,20)] - pH} \quad (\text{Equação 4.3})$$

Sendo:

T = temperatura em °C

4.9 PROCEDIMENTO DE COLETA DOS PEIXES

Ao final do experimento, T2 foi esvaziado para conferir a taxa de sobrevivência do experimento. Os exemplares foram pesados e medidos e, posteriormente, transferidos para o T1, cuja finalidade era manter os peixes vivos, caso viesse a ser necessário utilizá-los em outras análises. Ao mesmo tempo foram coletados, aleatoriamente, 15 peixes do T2 e 10 do

T3 para exames microbiológicos. Em T3 foram coletados apenas 10 peixes, devido ao fato dos mesmos não estarem na época de pesca, porque eram muito pequenos. Esse número menor, provavelmente, pode ter sido por causa de furto no decorrer da pesquisa. O tamanho amostral foi maior do que o recomendado pela RDC nº 12/2001 da ANVISA, que é de 5, para obter maior representatividade nos resultados.

Para a amostra de análises de qualidade sanitária nas carnes dos peixes cultivados foram utilizados os métodos discriminados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Equipamentos e métodos de análise realizados em amostras de peixes (músculo + pele).

Parâmetros	Metodologia de Análise
CF (NMP/g)	Técnica do Número mais provável
<i>Salmonella sp.</i>	Técnica Presença/Ausência
<i>Estafilococos coagulase positiva</i> (UFC)	Técnica da contagem direta em placas

4.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

De posse de todos os resultados das análises efetuadas em amostra do afluente e no interior dos tanques (T1, T2 e T3) foi feita uma análise estatística (descritiva), construindo os gráficos *Box-plot*, com a utilização do programa SPSS[®] versão 7.0. Esse programa foi escolhido por representar melhor um conjunto de dados e por ser ainda, segundo Ayres *et al.* (2000), Callegari-Jaques (2006) e Maroco (2007), muito utilizado para simular dados nas ciências biológicas. A Figura 4.9 mostra uma representação explicativa do gráfico *Box-plot*.

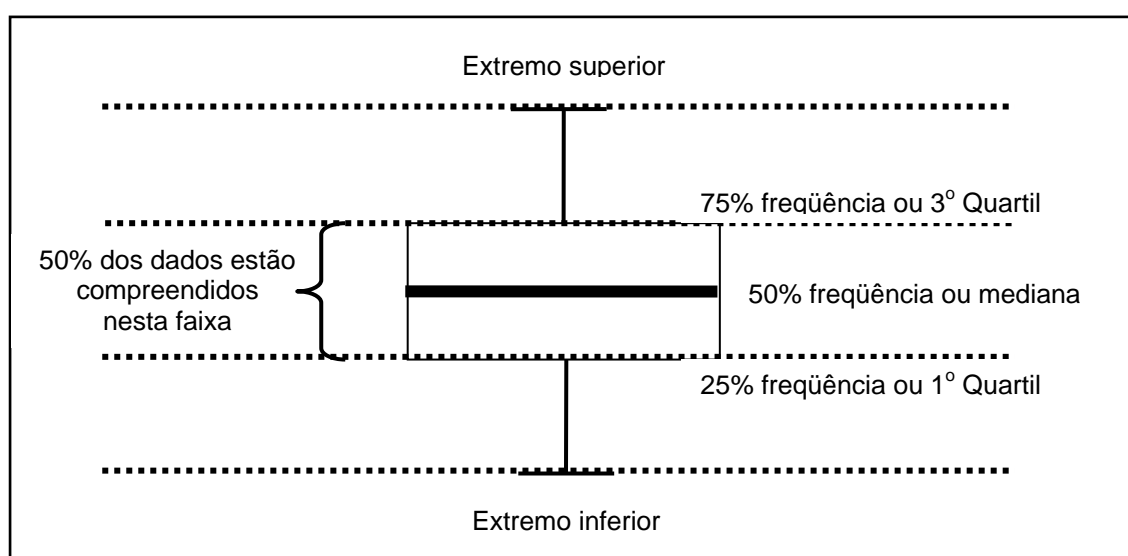


Figura 4.9: Esquema representativo do gráfico *Box-plot* (Andrade, 2005).

Percebe-se na Figura 4.9, que o gráfico *Box-plot* exibe um retângulo com um traço no meio representando a mediana (50% dos dados estão compreendidos nessa faixa), a parte inferior e superior desse retângulo representa as frequências acumuladas de 25% e 75%, respectivamente. O gráfico mostra também o menor e maior escore, por meio de linhas verticais, representando o valor mínimo e máximo obtido de cada parâmetro.

Vários autores (Henderson, 1979; Edwards, 1992; Matheus, 1986; Matheus e Barbieri, 1991; Matheus 1993 *apud* Felizatto, 2000) relatam que a análise de dados para a verificação da influência dos peixes na melhoria da qualidade da água em tanques que recebem esgotos tratados por lagoas de estabilização em série, tem sido pautada nas diferenças existentes entre as médias ou medianas das amostras afluente e efluente desses tanques. Outro recurso, frequentemente, utilizado pelos autores citados é a análise gráfica da seqüência, sempre dispondo o par de amostras de maneira cronológica. Assim, com o intuito de expor melhor os resultados obtidos, submetem-se os dados à estratégia demonstrada na Figura 4.10.

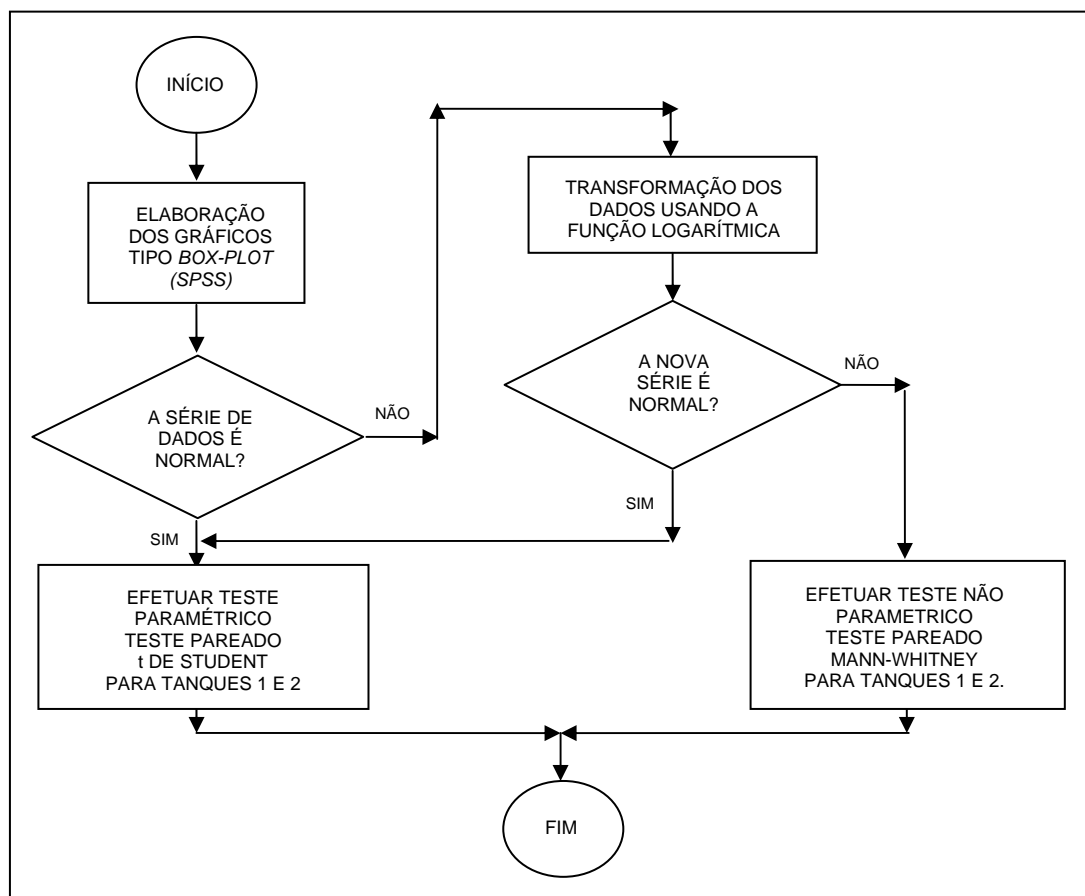


Figura 4.10: Fluxograma de atividades estatísticas utilizadas (Felizatto, 2000).

Depois da confecção dos gráficos *Box-plot*, prosseguiu-se com as atividades descritas na Figura 4.10 na qual foram realizados testes para verificar a normalidade das variáveis estudadas. Para isso, também foi utilizado o programa SPSS[®] versão 7.0. Nesses testes, foram relacionados os valores da simetria e da curtose dos dados com seus respectivos erros padrões para verificar a distribuição da amostra e qual teste estatístico seria aplicado.

Uma distribuição é simétrica quando o eixo que passa pela média divide-a em duas partes simetricamente iguais, caso contrário, é considerada uma distribuição assimétrica. Normalmente, uma simetria perfeita nunca se encontra na prática, mas considera-se que entre mais ou menos 0,5, situa-se dentro dos limites da distribuição simétrica. Uma assimetria positiva significa que a distribuição se estende para a direita, o que supõe um desvio à esquerda. Ao contrário, uma assimetria negativa significa que a distribuição tem um prolongamento para a esquerda, e, conseqüentemente, um desvio à direita. Conforme o grau de assimetria de uma distribuição pode ocorrer três relações entre média (\bar{X}), mediana (Md) e moda (Mo): (1) na distribuição simétrica: $\bar{X} = Md = Mo$; (2) em uma distribuição assimétrica positiva: $Mo < Md < \bar{X}$; (3) em uma distribuição assimétrica negativa: $Mo > Md > \bar{X}$ (Bisquerra *et al.*, 2004).

Por curtose entende-se como sendo o grau de achatamento da parte central de uma distribuição e também pode ocorrer de três maneiras, sendo g_2 o coeficiente de curtose: (1) se g_2 for próximo de zero a distribuição diz-se mesocúrtica ($g_2 = 0$), (2) se a distribuição for achatada g_2 toma valores menores que zero, e a distribuição diz-se platocúrtica ($g_2 < 0$), e (3) se a distribuição for pontiaguda g_2 toma valores maiores que zero, e a distribuição é chamada de leptocúrtica ($g_2 > 0$).

A série pode ser considerada normal, para o programa SPSS, quando, para ambas as relações calculadas, assimetria e curtose, seus valores forem divididos pelos respectivos erros padrões e estiverem compreendidos entre o mínimo de -2 e o máximo de +2 (Felizatto, 2000). Como proposto pelo fluxograma (Figura 4.10), em caso do não atendimento da normalidade da série de dados, a opção seguinte é a transformação dos valores nos seus respectivos logaritmos. Essa transformação faz parte dos procedimentos estatísticos de mudança de escala, com a

finalidade de estudar a normalidade da distribuição dos escores, bem como a estabilização da variância (Felizatto, 2000; Jacques, 2006 e Maroco, 2007).

A função da densidade de probabilidade provavelmente mais importante no processo de inferência estatística é a chamada distribuição normal ou de Gauss. A exigência de que a distribuição amostral seja do tipo normal, é um dos requisitos de um grupo de metodologias estatísticas de utilização freqüente e, genericamente, designada por métodos paramétricos (Maroco, 2007).

Para Maroco (2007), os testes paramétricos exigem a verificação simultânea das condições seguintes: (1) que a variável dependente possua distribuição normal, e que (2) as variâncias populacionais sejam homogêneas, caso se esteja a comparar duas médias ou mais que duas populações.

Ainda segundo Maroco (2007) o teste *t*-Student para amostras emparelhadas (caso da pesquisa em questão) é utilizado para comparar duas populações das quais foram extraídas duas amostras emparelhadas relativamente a uma variável dependente quantitativa. Esse teste tem como pressuposto apenas a condição de que a variável dependente apresente distribuição normal nas duas populações. No caso de não atender à normalidade, nem após a transformação, foi aplicado o teste de Mann-Whitney como alternativa não-paramétrica ao teste *t*-Student.

O teste de Mann-Whitney (ou teste *U*) é um substituto do teste *t* para amostras independentes e pode ser empregado nas seguintes condições (Jacques, 2006):

- As duas amostras são aleatórias e as observações, independentes, tanto entre quanto dentro das amostras.
- A variável de interesse tem uma distribuição subjacente contínua, isto é, a característica é contínua mesmo que os dados não o sejam.

Lapponi (2005) reporta que, os testes de hipóteses podem ser aplicados em uma cauda (unilateral) ou nas duas caudas (bilateral) da distribuição de freqüências adotada. Um teste de hipótese em uma cauda da distribuição é um teste no qual a hipótese alternativa H_1 define a mudança em alguma direção da hipótese nula H_0 , incluindo a especificação dos símbolos “ \leq

ou \geq ". Um teste de hipótese em duas caudas da distribuição é um teste no qual a hipótese alternativa H_1 define uma mudança da hipótese nula H_0 sem especificar nenhuma direção, incluindo na especificação o símbolo " \neq ".

Nesta pesquisa, foi aplicado o teste de hipótese bilateral, pois de acordo com Lapponi (2005) não é necessário realizar testes de hipóteses em uma cauda para poder afirmar que a média amostral é significativamente maior ou menor do que o valor utilizado como referência. E o objetivo da aplicação do teste bilateral aqui é verificar justamente se a um nível determinado de significância existe alguma diferença no efluente do tanque que possui a presença de peixes, seja ela menor ou maior comparado com o tanque que não possui peixes, mas somente esgoto.

Essas verificações estatísticas foram executadas nos pares de escores (para T1 e T2), possibilitando o cálculo das diferenças entre as variáveis examinadas e mediante ao seguinte teste de hipóteses:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Hipótese Nula} \quad - H_0: \mu_d = 0 \\ \text{Hipótese Alternativa} - H_1: \mu_d \neq 0 \\ \alpha = 0.05 \text{ ou } 5\% \end{array} \right.$$

A hipótese nula e a alternativa descrevem dois possíveis estados mutuamente excludentes, tendo em vista que as duas hipóteses não podem ser aceitas ou rejeitadas ao mesmo tempo. A hipótese nula é o valor correntemente aceito até a constatação das evidências de que esse valor não é mais correto, tal fato é uma afirmação ou ponto de partida do teste de hipótese. A hipótese alternativa será somente aceita se surgirem evidências de que o valor da hipótese nula não é mais correto. A variável testada é a μ_d – média da população das diferenças entre dois parâmetros, o nível de significância (α) adotado é uma medida do risco admitido no caso de rejeitar a hipótese nula sendo ela verdadeira.

4.11 PARÂMETROS DE PISCICULTURA

4.11.1 Análise microbiológica na pele e músculo dos peixes

As análises microbiológicas para verificar se os peixes cultivados na UPS estavam aptos para consumo humano foram realizadas no Laboratório Integrado de Microbiologia Veterinária e no Laboratório de Saúde Pública do Distrito Federal (LACEN-DF).

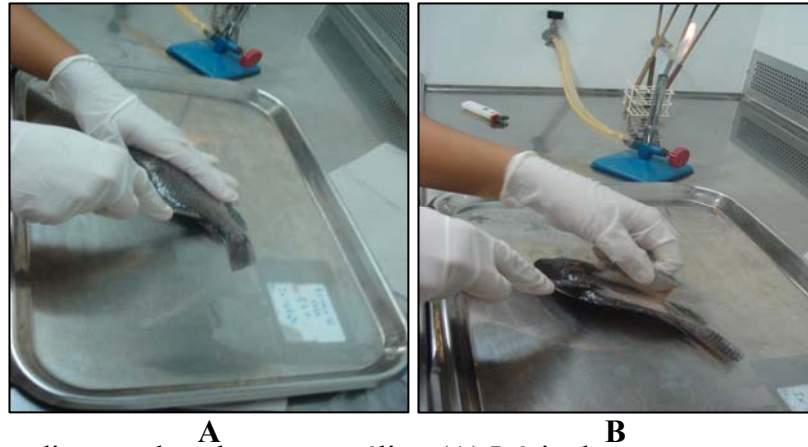


Figura 4.11: Procedimento de coleta para análise, (A) Início do corte rente a coluna dorsal do peixe e (B) Final do corte para recolhimento (pele + músculo).

4.11.2 Processamento das análises

Separaram-se 3 trincas de tubos de ensaio contendo Caldo Lauril e dois tubos de ensaio com água para cada amostra, em estantes previamente identificadas, juntamente com as placas de Petri para análise de *Estafilococos coagulase positiva*.

Todo o material foi identificado com o número da amostra e a data de início. Os tubos de ensaio recebem a marcação -1, na primeira trinca, -2 na segunda e -3 na terceira trinca, que indicaram a diluição feita. As placas de Petri foram identificadas também com o número da amostra e, assim, reservou-se esse material.

Para dar início às análises, o ambiente foi higienizado com álcool 70% para esterilizar, evitando uma possível contaminação. Separou-se o material necessário: recipiente com gema de ovo em solução salina e telurito de potássio, pipetas de 5 mL, proveta de 100 mL estéril, água peptonada tamponada, e alça de platina para espalhar a amostra de *Staphylococcus sp.*, pipeta automática de 1mL, ponteiras e *beckers*.

Inicialmente, prepararam-se as placas para análise de *Staphylococcus* adicionando-se 0,75 mL de gema de ovo, duas gotas de telurito de potássio, cuja função foi fazer com que a colônia bacteriana apresente-se negra na eventualidade de seu crescimento sobre a placa, e o meio *Baird Parker* (meio para o isolamento e contagem de *Estafilococos coagulase positiva*), esperou-se solidificar o meio.

As estantes com o Caldo Lauril e as amostras foram levadas para a capela de fluxo laminar e as respectivas amostras conservadas no freezer. Mediu-se 90 mL de água tamponada peptonada na proveta e a colocou no saco com 10 gramas de amostras previamente pesadas, de forma que a proporção foi mantida em 1:10. O saco com a amostra e a água peptonada tamponada foi levada ao homegenizador de alimentos regulado na velocidade 3 durante 1 minuto.

Com uma pipeta automática de 1 mL, a quantidade da amostra inicial foi retirada e colocada na 1ª água. Posteriormente, a ponteira foi descartada e fixada uma nova, a fim de retirar 1 mL da solução do 1º tubo de ensaio com água para transferi-lo ao 2º tubo de água.

Aspiraram-se 3 mL da solução do 2º tubo (o mais diluído) de água e distribuiu 1 mL para cada tubo de ensaio contendo Lauril e identificado com a diluição -3. Descartou-se a 2ª água. Repetiu-se o procedimento com o tubo -2. Os tubos identificados com diluição -1 recebeu 1 mL da solução contida na amostra inicial com água peptonada.

A placa de *Estafilococos* recebeu duas gotas da solução que estava na amostra, que foi espalhada com mini-tubo estéril pela placa. Após esse procedimento, levaram-se os tubos e as placas de Petri para a estufa de 37°C por 24 horas para *Salmonella* e por 48 horas para *E. Coli*.

4.11.3 Leitura dos resultados

4.11.3.1 *Estafilococos coagulase positiva*

Após o período de crescimento, houve a contagem do número de unidades formadoras de colônias típicas, possuidoras de um halo mais claro ao seu redor, e de atípicas (sem halo). O preparo dos tubos de coagulase ocorreu por meio da diluição do plasma de coelho com solução salina 0,9% estéril. Depois de diluído, distribuiu-se 0,3 mL em cada um dos tubos de

coagulase. De posse da placa de Petri com amostra, foi selecionada uma colônia com uma agulha para retirada da colônia.

Os tubos foram inoculados a 35°C por 48 horas. Se houver um resultado positivo, ocorrerá gelatinização no líquido de plasma de coelho e o resultado será dado como *Estafilococos coagulase positivo*, o que leva a concluir que é impossível o consumo do alimento, pois essa bactéria é uma das mais nocivas em casos de infecção alimentar.

4.11.3.2 Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)

As trincas de tubos de ensaio contendo caldo Lauril, apresentam resultados positivos para coliformes se o líquido se apresentar turvo e com produção de gás, o qual é visualizado por formar uma bolha presa nos tubos invertidos de *Durhan*. Os tubos que dessa forma se apresentaram foram encaminhados para testes confirmativos de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml a 45°C).

O teste confirmativo para coliformes termotolerantes acontece por meio da inoculação de uma alça do caldo Lauril, para um tubo com caldo *EC*, que também possui tubo de *Durhan* submerso a 45°C por um período de 24 horas.

Aqueles tubos que se apresentarem positivos, com turvação e formação de gás, devem ser esfriados com a alça numa placa de Petri contendo ágar, que é um meio seletivo para *Escherichia coli*.

As placas foram, então, incubadas por 24 horas a 35°C e caso fossem evidenciadas a presença de colônias típicas, de coloração verde metálica, o teste seria considerado como positivo para *E. Coli*.

4.11.3.3 *Salmonella sp.*

Foram realizados ensaios para verificação da presença de *Salmonellas sp.*, porque são consideradas, pelos padrões da legislação de qualidade dos alimentos, bactérias responsáveis pela infecção alimentar, sendo que não devem ser encontradas nos alimentos.

Passado o período de incubação, foi coletado 1 mL da amostra preservada em saco próprio e inoculou-se em caldo *Rappaport* por 24 horas a uma temperatura de 37°C. Os tubos que apresentaram modificação da cor do caldo para um tom mais claro de azul turvação procederam com resultado positivo.

A presença da bactéria confirmada foi levada para estriação em placas contendo meio Ágar *Hektoen* (seletivo para *Salmonella*), também a 37° por um período de 24 horas. Após esse período, a presença de colônias típicas nas placas seria um indicativo de que o produto é impróprio para o consumo humano. Entretanto, continuou-se o teste, pois a presença de colônias típicas (meio escuro, ao redor esbranquiçado) era também um indicativo, por isso foi preciso realizar outros testes para confirmar.

Em seguida foi realizado o teste de fenilalina e TSI (*triple sugar and iron*). Se, após esse teste, as amostras ficassem amarelas na base e vermelho no bisel, ainda era necessário prosseguir o exame. O TSI é uma análise de glicose, sacarose, lactose e ferro, e, se desse positivo, indicaria a possível presença de *Salmonellas*, visto que elas consumiriam glicose.

As amostras que passaram nos testes anteriores foram encaminhadas para os exames confirmativos de Vm, Vp, Indol, Citrato, Uréia, Lisina, Ornitina, Manitol, Salicina e Sorbitol e deixados em estufa a 37°C por mais 24 horas. Esses exames são feitos com meios previamente feitos de mesmo nome que as análises.

Após esses testes finais com a combinação de resultados expressos numa tabela padronizada, foi possível determinar com precisão se a amostra tinha realmente a presença de *salmonella sp.*

4.11.4 Destino final dos peixes amostrados

Após a realização das análises, as amostras contaminadas foram autoclavadas e descartadas. Os materiais utilizados, durante o processo, também foram esterilizados e levados para secagem em estufa de 85°C, no caso de vidrarias, e em estufas de 65°C, para plásticos.

4.12 COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA PARA ANÁLISE DE FITOPLÂNCTON

No dia 23/05/2008, amostras de água da lagoa de polimento e da unidade de piscicultura Samambaia foram coletadas, para avaliar a presença de fitoplâncton. Foram amostradas na entrada e na saída dos tanques e da lagoa, com um volume pré-estabelecido de 10 litros. A coleta foi realizada na subsuperfície da água, os dez litros foram passados em rede de fitoplâncton, cuja malha é 25µm.

O material foi fixado com *Transeu*, cuja composição é 6 partes de água, 3 de álcool e 1 parte de formol ou formalina. O material foi levado ao Laboratório de Análise de Águas da UnB para posterior análise qualitativa e quantitativa.

Para o inventário taxonômico as amostras foram agitadas e invertidas delicadamente, 50 vezes, seguindo a metodologia proposta por Messias (2002), com o intuito de haver uma melhor distribuição de todos os indivíduos presentes na amostra, e de que não se privilegiassem somente aqueles que ficam sedimentados no fundo do frasco.

Seguindo a metodologia de Branco (1978) *apud* Messias (2002), o material foi examinado entre lâmina e lamínula. A contagem dos microrganismos foi realizada por meio de “campo contínuo”, para que os resultados obtidos tivessem a maior confiança estatística possível.

Analisou-se aleatoriamente para cada amostra 5 Laminas, cujo objetivo era de amostrar todas as espécies presente. Em havendo surgimento de uma nova espécie, não contabilizada anteriormente, seria feita uma nova lâmina até que a leitura se estabilizasse e não apresentasse espécies novas, garantindo assim, que toda a ficoflórula presente na amostra fosse identificada. Foram preparadas 5 lâminas de cada amostra totalizando 15.

O material foi analisado por microscopia óptica de contraste de fase utilizando um microscópio *Leica* (Modelo *DM LB2*) acoplado a um sistema de captura de imagens, composto por uma câmera de vídeo *Leica* (Modelo *DFC 280*) e por um programa de aquisição de imagens (*Leica QWin V3*), os quais permitiram registrar e analisar qualitativamente o organismos presentes nas amostras, conforme a Figura 4.12.



Figura 4.12: Sistema utilizado para aquisição de imagens em microscopia.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo são apresentados e discutidos os resultados experimentais obtidos em toda pesquisa. Devido a problemas ocorridos durante a execução do experimento na Fase 1, foi necessário reformular o processo aplicado e, de acordo com a metodologia apresentada no capítulo anterior, os resultados são discutidos por etapa desenvolvida.

Para uma melhor exposição dos resultados, optou-se por colocar o conjunto total dos dados coletados que serviram para a construção dos gráficos *Box-plot* e dos testes estatísticos no Apêndice, sendo mostrado aqui apenas tamanho amostral (n), valor mediano (\bar{X}), valor máximo (V_M), valor mínimo (V_m) e desvio padrão (S^2).

O Apêndice está dividido da seguinte forma: (1) Apêndice A = parâmetros analisados na Fase I; (2) Apêndice B = tabela com todos dados utilizados para o cálculo da vazão; (3) Apêndice C = parâmetros analisados na Fase II, (4) Apêndice D = biometria final realizada nos peixes do T2 e, Apêndice E = corte e planta do sistema de arraste de amônia e perfil topográfico da Unidade de Piscicultura de Samambaia (UPS).

Ressaltando a nomenclatura adotada, os tanques de cultivo foram assim nomeados:

- T1: tanque abastecido com esgoto tratado da lagoa de polimento final módulo II da ETE Samambaia;
- T2: tanque abastecido com esgoto tratado da lagoa de polimento final módulo II da ETE Samambaia e um lote de peixes definido, e
- T3: tanque abastecido com água potável da CAESB, mais um lote de peixes, alimentado com ração convencional para piscicultura.

Padronizou-se as coletas das amostras de qualidade da água sempre às 9:00 e a uma profundidade de 60 cm no interior dos tanques de cultivo para tentar manter um padrão na amostragem, reduzindo assim possíveis erros.

5.1 FASE I – REMOÇÃO DE NITROGÊNIO AMONIACAL

A Fase I foi dividida em duas etapas, sendo a primeira denominada pré-teste onde foi medida a eficiência da torre de arraste na redução de amônio e a segunda etapa foi o monitoramento do amônio e de outros parâmetros, também, importantes para o processo no interior dos tanques T1 e T2 sem entrada de esgoto tratado nos mesmos, essa etapa foi necessária pelo fato de não ter alcançado os resultados esperados na etapa anterior.

5.1.1 Etapa I – Pré-Teste (monitoramento da eficiência de redução de NH_4^+ na coluna de arraste de amônia)

Após a construção e instalação da torre de arraste, o sistema foi operado em regime contínuo por uma semana para verificar a eficiência de remoção de amônio, e se essa remoção era suficiente para a criação de peixes no tanque T2. O resultado obtido nessa etapa é apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Eficiência de remoção (%) do sistema de arraste de amônia para NH_4^+ (n=8).

Data	Afluente	Efluente	R (%)	R_d (%)
8/out	23,5	23,3	1	66
9/out	33,1	31,8	4	76
10/out	34,2	28,6	17	77
11/out	35,3	25,7	27	77
12/out	31,9	27,3	14	75
13/out	33,0	24,0	27	76
14/out	36,8	22,4	39	78
15/out	29,3	22,9	22	73
\bar{X}	32,1	25,7	19	75
S^2	4,1	3,3	--	--

Legenda: R (%) = eficiência de remoção obtida em porcentagem, R_d = eficiência de remoção desejada para a criação de peixes em porcentagem, n = tamanho amostral, \bar{X} = média aritmética e S^2 = desvio padrão.

Devido ao alto valor de amônio presente no efluente da ETE Samambaia no período de teste e a baixa eficiência alcançada com a torre de arraste, observou-se que, somente a torre de arraste de amônia não seria suficiente para remover os quase 80% necessário para a criação dos peixes nas condições de regime contínuo, visto que a remoção média obtida foi de apenas 19%, sendo que necessitaria uma remoção média por parte da torre de arraste de amônia de 75%. Como mostrado na Figura 5.1.

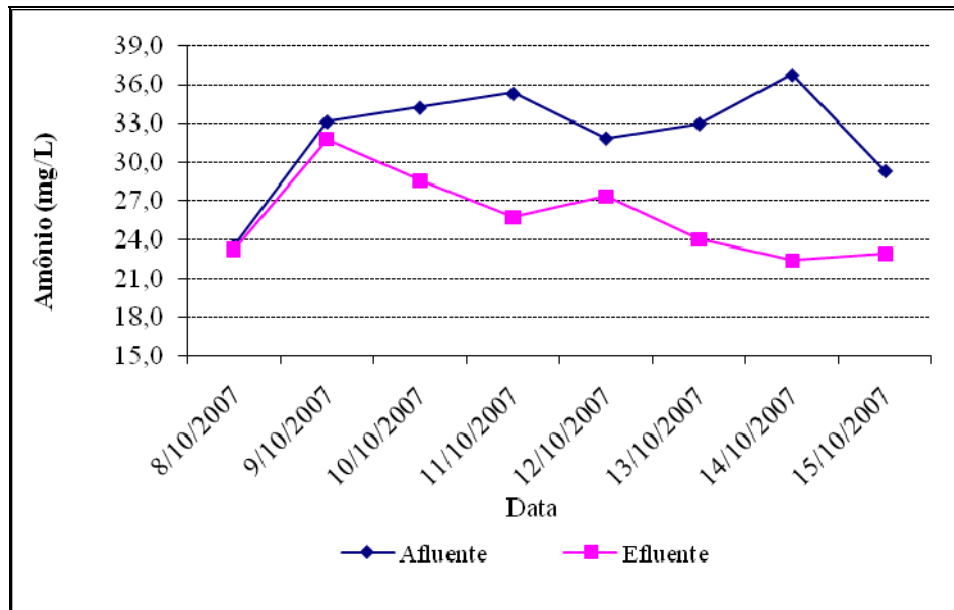


Figura 5.1: Concentração de amônio afluente e efluente (mg/L) do sistema de remoção de amônia, monitorados na Etapa I – pré-teste.

Para se atingir a remoção desejada, seria necessário elevar o pH, que apresentou valor médio cerca de 9,0 para valores entre 10,5 e 11,5 com a adição de cal para forçar a volatilização da amônia livre. Contudo esse valor elevado de pH impossibilita a criação de peixes, visto que a faixa de pH ideal para o cultivo é entre 6,5 e 9,5, nesse caso teria que dosar um ácido para abaixar o pH no qual se conseguiria um equilíbrio do ácido carbônico pelo efeito tampão da alcalinidade e um pH estável para a criação de peixes.

Com base nos resultados obtidos na primeira etapa prosseguiu-se com o experimento dando início a Etapa II da Fase I.

5.1.2 Etapa II – Comportamento de nitrogênio amoniacal no interior de T1 e T2 sem entrada de esgoto tratado

É importante lembrar que o objetivo deste trabalho é o reúso de água, logo, seu custo de implantação e operação deve ser baixo senão torna inviável sua aplicação. Com isso, partiu-se do princípio que, ao fechar a entrada de esgoto tratado dos tanques T1 e T2 poderia ser observado no interior desses tanques a redução de nitrogênio amoniacal, tão importante e limitante para o cultivo de peixes.

5.1.2.1 Amônio - NH_4^+

Com o intuito de observar a redução de amônio, o sistema foi monitorado até que atingisse o valor de NH_4^+ recomendado por Buras (1987) – 8 mg de NH_4^+ /L – para assim, poder transferir para o tanque T2 o lote de peixes escolhidos, cerca de 300 peixes. A Tabela 5.2 e Figura 5.2 mostram os valores obtidos para amônio em amostras do afluente e no interior dos tanques T1 e T2.

Tabela 5.2: Valores de amônio (mg/L) afluente e nos tanques T1 e T2 (n =21).

Estatística	AFL	T1	T2
\bar{X}	38,6	18,4	15,8
X_M	50,3	28,6	28,0
X_m	33,0	11,4	7,0
S^2	5,4	5,3	7,7

Legenda: n = tamanho amostral, AFL = Afluente, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo e S^2 = desvio padrão.

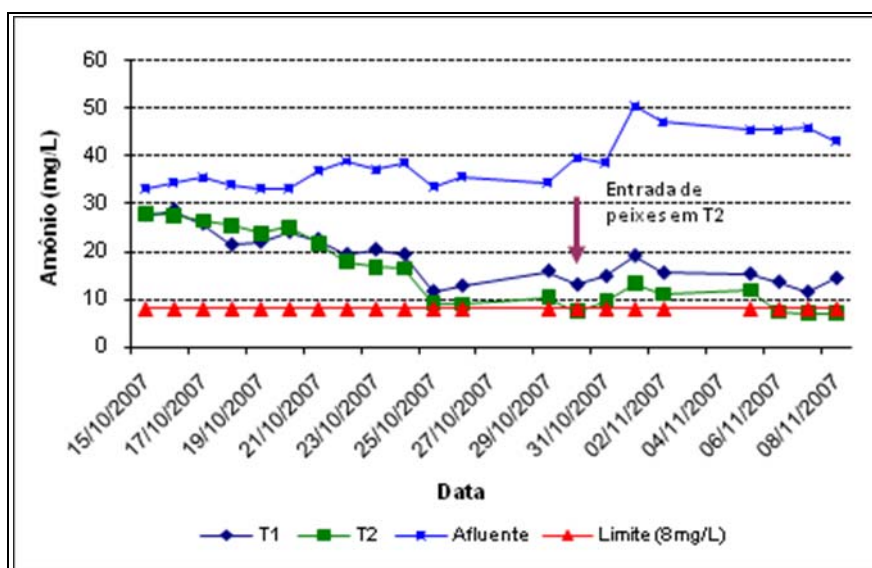


Figura 5.2: Concentrações de Amônio (NH_4^+) (mg/L) em amostra afluente e no interior dos tanques.

Como foi observado, no 14º dia (30/10/2008) de monitoramento, o valor de amônio em T2 apresentou uma tendência de decaimento, atingindo o recomendado na literatura, com isso optou-se em colocar os peixes em T2, por apresentar valor inferior de amônio em relação a T1 nesse dia. Entretanto, no dia seguinte, ocorreu um aumento que, provavelmente associado ao baixo valor de oxigênio dissolvido no interior do tanque à noite (não foi monitorado), ocasionou a mortalidade de 100% dos exemplares alocados. Optou-se então por continuar

monitorando esse parâmetro e outros também importantes, para saber como os parâmetros estavam se comportando no interior dos tanques de cultivo.

Os peixes mortos foram retirados do tanque e levados para destino próprio dentro da ETE. Optou-se em continuar monitorando o NH_4^+ para verificar o comportamento desse parâmetro no interior do tanque, possibilitando conferir se esse parâmetro influenciou de forma direta na mortalidade observada. Ao final, notou-se que houve uma combinação de fatores, nos quais o alto valor de pH, amônia elevada e baixo oxigênio dissolvido, foram determinantes para o elevado índice de mortes obtidas.

Diferentemente do reportado por Felizatto (2000), o tanque em que havia peixes apresentou valor médio de amônio superior ao tanque controle, sem peixes, o que foi justificado pelas excretas dos peixes. O mesmo não pode ser dito no caso dessa pesquisa, pois os peixes morreram após 24 horas não provocando qualquer impacto no efluente, contudo os valores médios calculados nessa fase foram em torno de 21% menores do encontrado por Machado (2006).

Souza (2002) examinando em aquários a toxicidade do efluente da lagoa de polimento final da ETE Samambaia, encontrou valores de amônio entre 6,38 e 17,83 mg/L, quando em 100% de esgoto nos tanques piscícolas, e concluiu que, embora bastante elevado para aplicação em piscicultura esse efluente não apresentou toxicidade aguda nem crônica para a tilápia do Nilo, indicando potencial para reúso em piscicultura.

5.1.2.2 Amônia - NH_3

Foi estimada a amônia livre, pois esta, associada a altos valores de pH, influencia diretamente no deslocamento da forma do nitrogênio para a forma livre, que é tóxica para os peixes.

Para o cálculo da amônia não ionizada utilizou-se a equação de Thurston *et al.* (1981), na qual se pode verificar que os tanques apresentaram comportamento semelhante nesse aspecto. A Tabela 5.3 e as Figuras 5.3 e 5.4 mostram os valores de amônia livre para T1 e T2, respectivamente.

Tabela 5.3: Amônia livre (NH₃) em mg/L nos tanques piscícolas abastecidos com esgoto tratado da lagoa de polimento final da ETE Samambaia.

Estatística	T1	T2
\bar{X}	0,46	0,53
X_M	0,94	0,96
X_m	0,07	0,08
S^2	0,2	0,2
n	19	20

Legenda: \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo, S^2 = desvio padrão e n = número de amostras

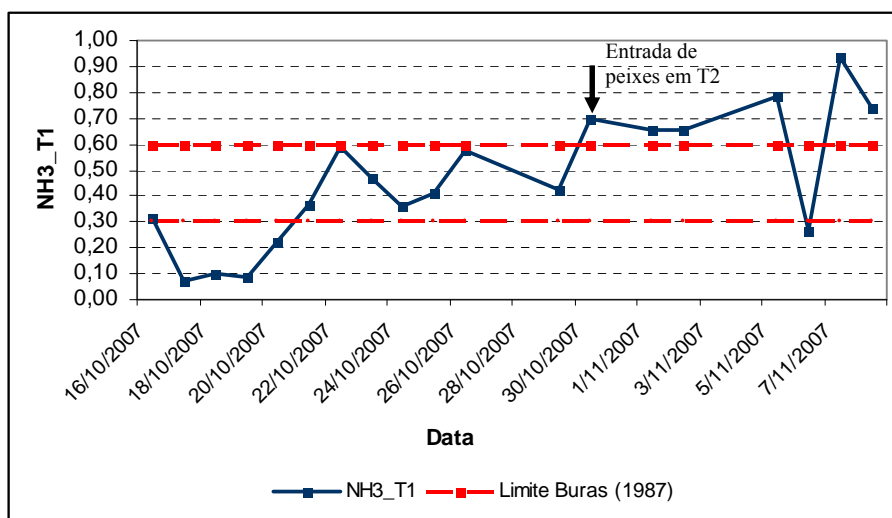


Figura 5.3: Concentrações de amônia não ionizada (NH₃) (mg/L) em T1.

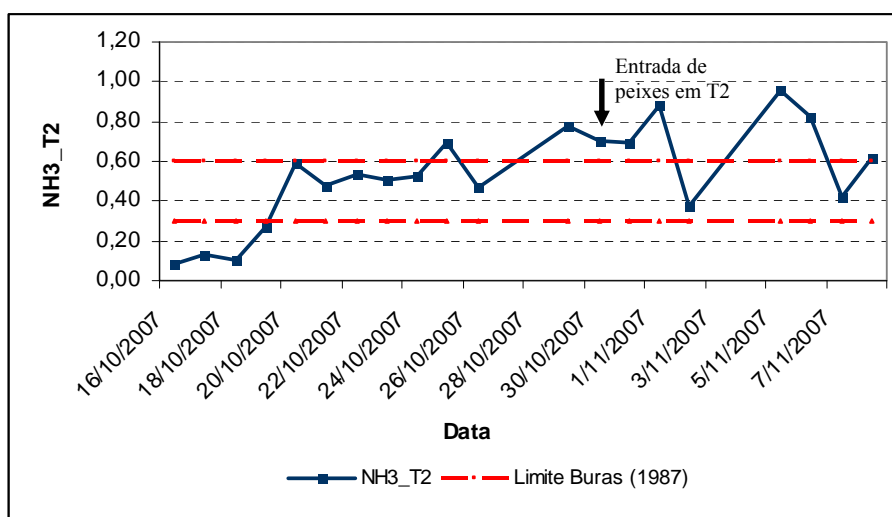


Figura 5.4: Concentrações de amônia não ionizada (NH₃) (mg/L) em T2.

Nota-se pelas Figuras 5.3 e 5.4 que os valores de amônia livre ficaram, em sua maioria, dentro do recomendado por Buras (1987) - 0,3 a 0,6 mg NH₃/L - o que facilitou o empeixamento em T2. Entretanto, após o dia 30/10/2008, foram observados valores extremos de amônia nesse tanque, indicando que esse parâmetro, assim como NH₄⁺ associado ao elevado pH (acima de 9,0) e baixo oxigênio dissolvido (em média 3,6 mg/L), pode ter contribuído diretamente para a mortandade total dos peixes observada após 24 horas de alocação no T2.

5.1.3 Parâmetros de qualidade da água monitorados na Etapa II da Fase I para T1 e T2 sem entrada de esgoto tratado nesses tanques e em T3 alimentação com água potável e ração

5.1.3.1 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica é uma medida direta da quantidade de íons na água. Altos valores de condutividade podem significar altas taxas de decomposição de matéria orgânica sendo um indicativo para quantidade de nutrientes disponíveis ou mesmo indicio de problemas com poluição da água. A Tabela 5.4 e Figura 5.5 indicam os valores obtidos desse parâmetro para amostra afluyente e no interior dos tanques piscícolas.

Tabela 5.4: Resultados de condutividade (μS/cm) dos tanques de cultivo (n=21).

Estatística	AFL	T1	T2	T3
\bar{X}	628	543	531	51
X_M	770	675	688	62
X_m	479	373	358	41
S^2	78,4	78,2	90,3	6,8

Legenda: AFL = afluyente, \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo e S^2 = desvio padrão e n = tamanho amostral.

Pode-se observar que os valores de condutividade dos tanques com esgoto (T1 e T2) manifestaram a mesma tendência ficando com médias próximas de 543 μS/cm e 531 μS/cm para o T1 e T2 respectivamente, já para T3 (tanque com água potável) observou-se que a condutividade foi bem inferior ($\bar{X} = 51$ μS/cm), o que já era esperado, pelo fato de apresentar uma baixa salinidade, por ser um tanque alimentado com água potável. Os valores de condutividade alcançados estão próximos dos obtidos por Felizatto (2000) e Machado (2006) para os tanques de cultivo.

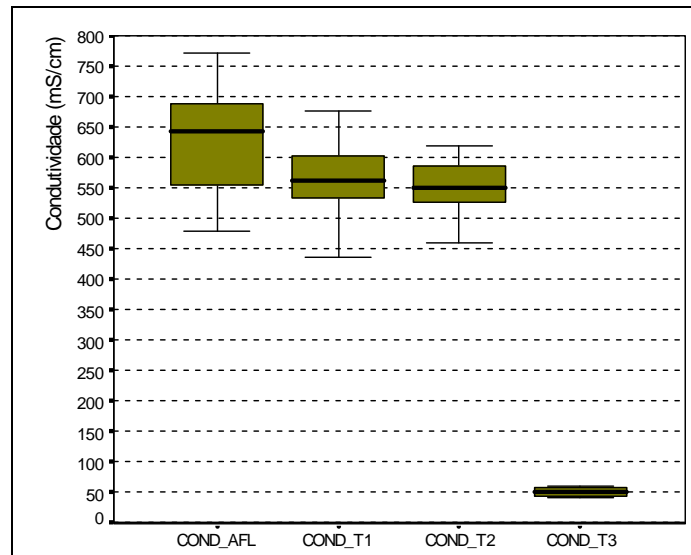


Figura 5.5: *Box-plot* de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) em amostra do afluente e no interior dos tanques piscícolas.

5.1.3.2 Transparência

A transparência é uma medida diretamente relacionada com a quantidade de matéria orgânica, em tanques onde a transparência é inferior a 30 cm á uma indicação que esse tanque está com excesso de matéria orgânica e conseqüente redução de oxigênio dissolvido na água prejudicando a sobrevivência dos peixes. A Tabela 5.5 e a Figura 5.6 mostram os valores obtidos para transparência no interior dos tanques piscícolas.

Tabela 5.5: Valores de Transparência (cm) medidos no interior dos tanques piscícolas (n=21).

Estadística	T1	T2	T3
\bar{X}	8	9	51
X_M	11	15	70
X_m	5	5	40
S^2	1,7	2,6	10,1

Legenda: \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo, S^2 = desvio padrão e n = tamanho amostral.

Pode-se notar pela Figura 5.6 que os valores de transparência em T1 e T2 foram idênticos, e como já era esperado, T3 ostentou valores maiores, pois é um tanque alimentado com água potável e os peixes foram alimentados com ração.

Os valores médios para transparência encontrados em T1 e T2 foram de 8 e 9 cm simultaneamente, esses valores estão abaixo do encontrado em pesquisas anteriores realizadas na Unidade de Piscicultura de Samambaia (UPS). Felizatto (2000) obteve 12 cm para T1 e 11

cm para T2, e Machado (2006) encontrou 10 cm para T1. No entanto, de acordo com Felizatto (2000), os resultados indicam um ambiente com alta concentração de biomassa de algas comparada à piscicultura convencional, onde, segundo Silva *et al.* (1994) a faixa ideal de transparência em tanques de piscicultura, a depender da profundidade do tanque e que o fundo não esteja visível, está em torno de 20 a 40 cm.

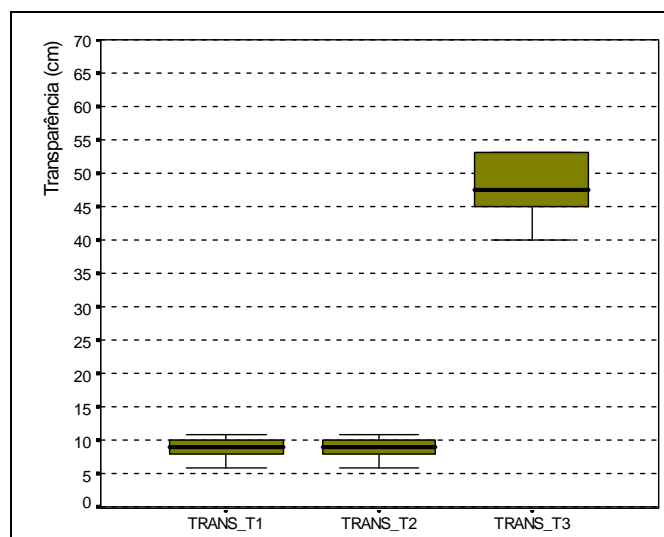


Figura 5.6: *Box-plot* de Transparência (cm) no interior dos tanques.

5.1.3.3 pH

O pH da água no cultivo de tilápias deve ser mantido entre 6 a 8,5. Abaixo de 4,5 e acima de 10,5 a mortalidade é significativa (Kubitza, 2000). Os valores obtidos da análise de pH para amostras do afluente e no interior dos tanques são sintetizados na Tabela 5.6 e mostrados na Figura 5.7.

Tabela 5.6: Resultado de pH afluente no interior dos tanques de piscicultura (n = 22).

Estatística	AFL	T1	T2	T3
\bar{X}	8,5	9,2	9,4	9,7
X_M	9,6	10,5	10,7	10,4
X_m	7,7	8,2	8,3	7,9
S^2	0,4	0,5	0,6	0,8

Legenda: AFL = afluente, \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo, S^2 = desvio padrão e n = tamanho amostral.

No período monitorado observou-se que somente os dados afluentes ficaram, em sua maioria, dentro da faixa recomendada por Boyd (1990) que é de 6,5 a 9,0 para piscicultura. Apesar dos

valores médios de pH nos tanques estarem em sua maioria fora do recomendado, notou-se que o pH sozinho não influenciou de forma direta na mortalidade dos peixes. Os valores médios obtidos estão de acordo com o citado por Felizatto (2000) em cuja pesquisa pH na UPS variou de 7,5 a 11, e um pouco acima do obtido por Machado (2006) quando os valores de T1 e T2 ficaram próximos da neutralidade.

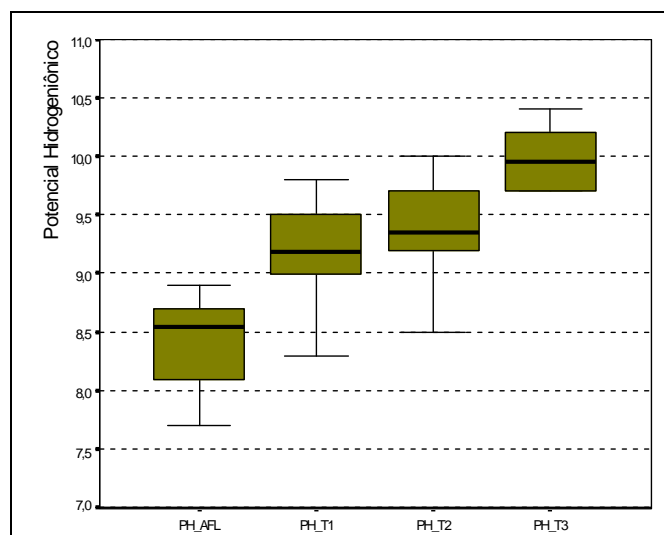


Figura 5.7: Box-plot de pH em amostra afluyente e no interior dos tanques piscícolas.

5.1.3.4 Oxigênio Dissolvido

As tilápias toleram baixas concentrações de oxigênio dissolvido (OD) na água de 2 mg/L a situações de anoxia por 2 a 4 manhãs consecutivas mas, apesar desta habilidade de sobreviver algumas horas sob anoxia, tilápias freqüentemente expostas ao baixo OD ficam mais susceptíveis às doenças e apresentam desempenho reduzido (Kubitza, 2000). Os valores obtidos da estatística descritiva para oxigênio dissolvido são apresentados na Tabela 5.7 e mostrados na Figura 5.8.

Tabela 5.7: Valores médios diários de oxigênio dissolvido (mg/L) no interior dos Tanques 1, 2 e 3 (n = 19).

Estatística	T1	T2	T3
\bar{X}	3,6	3,6	9,8
X_M	6,2	5,8	14,6
X_m	2,2	2,1	3,4
S^2	1,1	1,0	3,2

Legenda: \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo, S^2 = desvio padrão e n = tamanho amostral.

Os valores medianos de oxigênio dissolvido observados nos tanques (Figura 5.8) foram razoáveis (3,6 mg/L) se comparado com o valor encontrado por Machado (2006) para o tanque em que havia esgoto (média de 2,4 mg/L). Contudo, em nenhum dia o valor de oxigênio atingiu 0 mg/L de OD nos tanques com esgoto tratado (T1 e T2), sendo que Machado (2006) chegou a registrar 0,48 mg/L de OD no tanque com esgoto. Felizatto (2000) encontrou valores nos tanques abastecidos com esgoto tratado variando de 2,0 a 21,0 mg/L. Nota-se também que, para o T3, as condições de OD são extremamente favoráveis, com média acima da saturação (8,2 mg/L), indo de acordo com o reportado por Machado (2006).

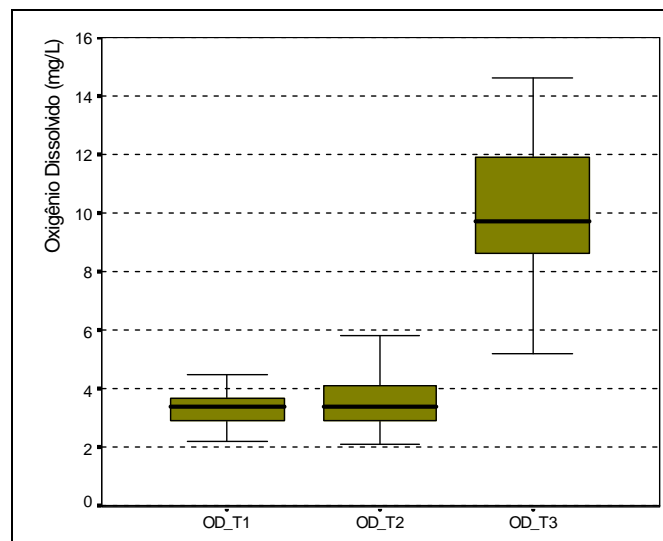


Figura 5.8: *Box-plot* das concentrações de oxigênio dissolvido (mg/L) no interior dos tanques.

5.1.3.5 Temperatura

A temperatura da água é um dos principais fatores que afetam o desenvolvimento e a vida dos peixes, reprodução, alimentação, defesa imunológica são alguns exemplos de funções que são alteradas com a variação de temperatura na água. Isso porque os peixes são animais ecotérmicos, ou seja, a temperatura do seu corpo é influenciada pelo ambiente. A Tabela 5.8 mostra um resumo dos valores obtidos para esse parâmetro e a Figura 5.9 a representação no gráfico *Box-plot*.

Kubitza (2000) reporta que as tilápias, por serem peixes tropicais, apresentam um conforto térmico entre 27 e 32°C, temperaturas acima de 32°C e abaixo de 27°C reduzem o apetite e o crescimento.

Tabela 5.8: Valores médios diários de temperatura (°C) no interior de T1, T2 e T3 (n=21).

Estadística	T1	T2	T3
\bar{X}	21,9	22,1	23,9
X_M	22,4	23,4	26,4
X_m	21,2	21,4	21,3
S^2	0,4	0,5	1,4

Legenda: \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo, S^2 = desvio padrão e n = tamanho amostral.

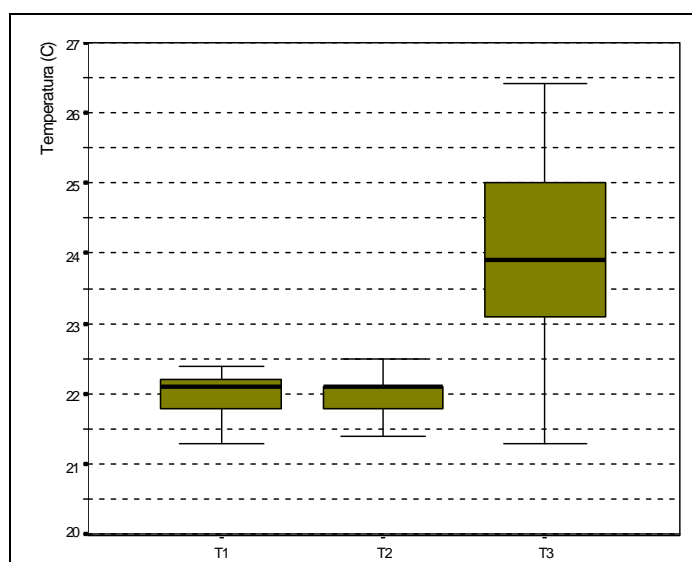


Figura 5.9: *Box-plot* de temperatura (°C) no interior de T1, T2 e T3.

Pode-se notar pela Figura 5.9 que as temperaturas obtidas em T1 e T2 foram próximas de 22°C, repetindo os valores encontrados por Machado (2006) para TA (tanque com esgoto e peixe), cuja medida foi de 22,3°C. Porém, não se pode associar o alto índice de mortalidade observado nessa fase a essa variável específica. Observou-se em T3 um leve aumento de temperatura (cerca de 1,9°C), o que pode ser talvez explicado pelo fato desse tanque ser abastecido com água potável, o que implica em baixo teor de sólidos em suspensão e conseqüentemente maior transparência, favorecendo com isso a entrada de raios ultravioletas, aumentando o aquecimento no tanque.

5.2 FASE 2 - ALIMENTAÇÃO EM BATELADA

Devido ao insucesso na fase anterior, reformulou-se a metodologia, os tanques foram esvaziados, limpos e devidamente preenchidos com água potável da CAESB. Com o intuito de se ter um ponto inicial, realizou-se análise dessa água, aqui chamada de “ponto-zero”, cujos resultados estão na Tabela 5.9.

Por se tratar de água potável, não era para apresentar valores relativamente altos de nitrogênio amoniacal e coliformes fecais, porém, isso deve ter ocorrido pelo fato de ter ficado vestígio de esgoto nos tanques mesmo após a limpeza, visto que eles estavam cheios com efluente da lagoa de polimento final da ETE Samambaia.

Tabela 5.9: Parâmetros analisados nos tanques de cultivo abastecidos com água potável da CAESB, antes da entrada de esgoto em T1 e T2.

Parâmetros	T1	T2
pH	7,4	7,6
Alcalinidade (mg/L)	32	32
DQO (mg/L)	25	27
DBO (mg/L)	54	53
NTK (mg/L)	2,14	1,91
NH ⁺ ₄ (mg/L)	1,74	1,35
SST (mg/L)	10	12
CF (NMP/100 ml)	7,4E+00	8,5E+00

Foram pesados e medidos 220 peixes, que foram alocados em T2. No entanto, decidiu-se seguir recomendação de Kubitzka (2000) de não alimentar os peixes no mesmo dia da transferência, por causa do estresse sofrido com a realocação, podendo levar a um alto índice de morte. Em função disso, os peixes ficaram 7 dias sem alimentação, com objetivo também de se tornarem famintos, para quando se desse a entrada com esgoto eles se alimentarem mais facilmente do efluente da lagoa de polimento.

Essa fase foi iniciada em 19/11/2007 com término em 07/04/2008 totalizando 128 dias de experimento. Com isso, conseguiu-se trabalhar com um ciclo de vida da espécie escolhida (cerca de 4 meses), podendo verificar o potencial de reprodução da tilápia do Nilo nas condições a que foram submetidas.

Os parâmetros de qualidade da água analisados nessa fase foram: alcalinidade, pH, transparência, temperatura, condutividade, oxigênio, DQO, DBO, SST, NTK, amônia total, amônia livre, nitrito, nitrato, ortofosfato, coliformes fecais, coliformes totais e Clorofila-a.

5.2.1 Monitoramento da vazão de entrada nos tanques de cultivo

Como mencionado na metodologia, a alimentação dos tanques, nesta fase, foi em regime de batelada. Na primeira semana, como os tanques estavam cheios com água potável, optou-se

por deixar o tempo de alimentação nos tanques em 8 horas diárias. Na semana seguinte, e no restante do experimento a alimentação foi de 6 horas diárias. Aos sábados, o sistema ficava ligado por 4 horas e aos domingos não eram alimentados.

Essa escolha se deu em virtude da menor lâmina obtida no vertedouro que encaminha o esgoto tratado para os tanques T1 e T2 ser de 0,4 cm, fato ocasionado pelo registro usado (do tipo esfera), o que a depender do valor de nitrogênio total obtido da análise em laboratório excedia a taxa proposta por Mara *et al.* (1993), então foi uma forma de compensar a entrada a mais de nitrogênio no tanque ocorrida quando os valores de nitrogênio total fossem elevados. O resultado simplificado dos valores medianos, máximos, mínimos e de desvio padrão da vazão são mostrados na Tabela 5.10 e nas Figuras 5.10 e 5.11. O montante de dados se encontra no Apêndice B.

Tabela 5.10: Valores utilizados nos cálculos da vazão de alimentação e da lâmina usada no vertedor (médios, máximo, mínimo e desvio padrão) (n=99).

Estat	H (cm)	Q (*) (l/s)	T (h/dia)	Q (m ³ /d)	Q (m ³ /d/tanque)	NTK (mg/l)	NO _x (mg/l)	NT (mg/l)	TAN (kg/d/ha)	TDH (Dias)
\bar{X}	0,4	0,1	5,6	6,9	3,5	22,5	0,3	22,7	4,5	51,6
X _M	0,4	0,1	8,0	7,9	3,9	38,1	0,8	38,4	5,7	69,7
X _m	0,3	0,1	4,0	4,9	2,5	14,8	0,1	15,3	3,5	43,4
S ²	0,05	0,02	1,1	1,3	0,7	3,8	0,2	3,8	0,6	11,8

Legenda: (*) Vazão calculada pela fórmula do vertedouro (Felizatto, 2000), T = tempo de alimentação diária (horas), \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo, S² = desvio padrão, n = tamanho amostral e TAN = Taxa de Aplicação de Amônia diária em T1 e T2.

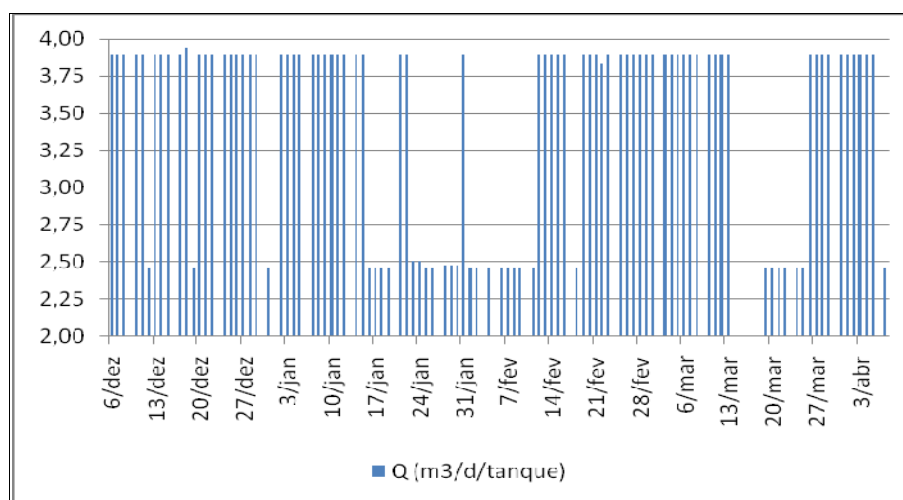


Figura 5.10: Vazão (m³/dia) de entrada em cada tanque de cultivo (T1 e T2) com efluente da lagoa de polimento final da ETE Samambaia.

Observa-se que o valor de vazão mediana trabalhada foi de 3,47 m³/dia para cada tanque de cultivo (T1 e T2). Esse valor é cerca de 4 vezes menor do usado por Felizatto (2000). O que corresponde a um tempo de detenção hidráulica médio de 52 dias, superior ao trabalhado por Felizatto (2000), que foi de 13 dias.

O tanque T3 foi abastecido com água potável também em regime de batelada sempre junto com a alimentação de T1 e T2.

Vale ressaltar que, dos 128 dias de experimento, excetuando os domingos, quando não eram alimentados os tanques, em apenas 4 dias T1 e T2 ficaram sem entrada de esgoto, isso por causa do baixo nível em que se encontrava a lagoa de polimento devido a operações de desvio (*by-pass*) realizadas na ETE Samambaia o que impossibilitou procedimento de alimentação dos tanques.

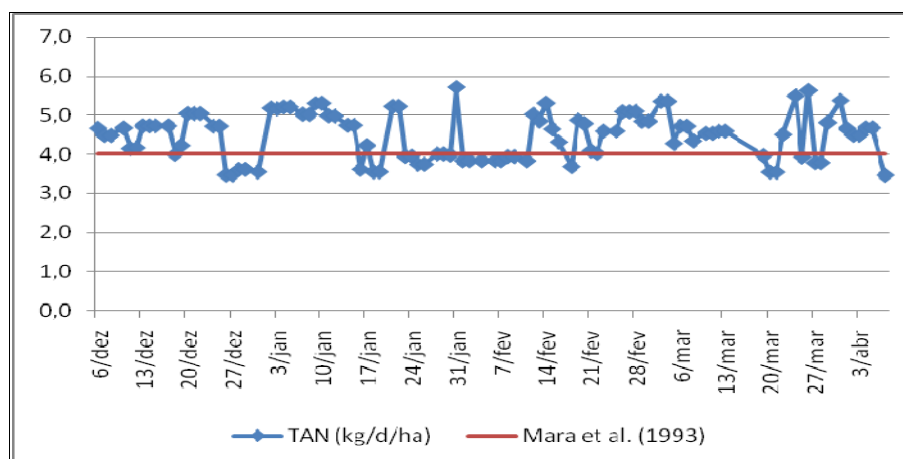


Figura 5.11: Concentração da Taxa de Aplicação de Nitrogênio (Kg/ha/dia) aplicada em cada tanque (T1 e T2).

Pode-se observar que, apesar da taxa de aplicação de nitrogênio ter sido maior em alguns dias do experimento, o valor médio obtido se encontra próximo do proposto por Mara *et al.* (1993), ficando em 4,5 Kg de NT/ha.dia.

5.3 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS OBTIDOS NA FASE II

A análise estatística realizada foi explicada no capítulo 4, porém vale frisar que todos os testes estatísticos geraram o *p-value* que é definido segundo Lapponi (2005) como a probabilidade

de qualquer média da amostra ser mais extrema do que a média da amostra \bar{X} extraída para o teste, sem rejeitar a hipótese nula. Do exposto e da definição de *p-value* temos:

- O *p-value* é o nível de significância observado,
- Se o *p-value* for maior ou igual a α , então a hipótese nula será aceita, e
- Se o *p-value* for menor ou igual a α , então a hipótese nula será rejeitada. Quanto menor for o *p-value*, mais forte será a evidência para rejeitar a hipótese nula.

5.3.1 Alcalinidade

A alcalinidade é um parâmetro importante para o monitoramento da fração tóxica da amônia, pois está diretamente ligada ao pH, que quanto mais alcalino maior a concentração de NH_3 presente na água. Os valores de alcalinidade obtidos são resumidos na Tabela 5.11 e Figura 5.12.

Tabela 5.11: Concentrações de alcalinidade total (mg/L de CaCO_3) monitorados em amostras afluente e no interior dos tanques piscícolas.

Parâmetro	n	X_M	X_m	\bar{X}	S^2
Alc_AFL		202	99	126	25,0
Alc_T1	30	87	35	50	11,8
Alc_T2		77	37	51	11,7
Alc_T3		23	9	14	3,86

Legenda: \bar{X} = média aritmética, n = tamanho amostral, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo e S^2 = desvio padrão

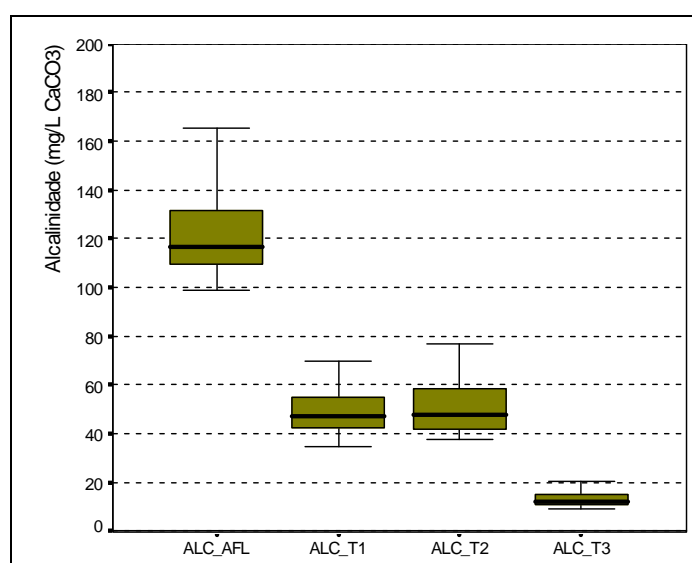


Figura 5.12: *Box-plot* de alcalinidade total (mg/L de CaCO_3) em amostra do afluente e no interior dos tanques.

Pode-se observar pela Figura 5.12 que os valores de alcalinidade para T1 e T2 apresentaram uma mesma tendência, ficando com medianas e médias bem próximas, sendo quase 3 vezes menor que o valor afluente, o que pode ser explicado pelo fato dos tanques terem sido cheios de água potável no começo do experimento, ocorrendo uma possível diluição ou ter ocorrido o processo de nitrificação no interior dos tanques e ter, conseqüentemente, consumido alcalinidade. A alcalinidade do T3 foi bem menor do que a apresentada por T1 e T2, o que já era esperado pelo fato de ser água potável e não estar recebendo entrada de esgoto.

A série de dados para alcalinidade não foi considerada normal, pois os valores da relação entre curtose e assimetria com seus respectivos erros padrões, como pode ser visto na Tabela 5.12, ficaram acima da faixa necessária (-2 e +2) para ser considerada normal. Com a verificação da não normalidade prosseguiu-se executando o teste não paramétrico de Mann-Whitney (Tabela 5.13).

Tabela 5.12: Curtose e assimetria da alcalinidade total (mg/L CaCO₃) nas amostras de T1 e T2.

Parâmetro	Assimetria	Erro padrão	X	Curtose	Erro padrão	Y
Alc_T1	1,224	0,427	2,87	1,927	0,83	2,313
Alc_T2	0,907	0,427	2,12	-0,277	0,83	-0,333

Legenda: X = Assimetria dividida pelo erro padrão e Y = Curtose dividida pelo Erro Padrão

Tabela 5.13: Resultado do Teste de Mann-Whitney para alcalinidade total (mg/L CaCO₃) em T1 e T2.

Parâmetro	N1	N2	R1	R2	U	Z(U)	p
Alc_T1-Alc_T2	29	30	29,22	30,75	412,5	-0,341	0,73

Legenda: p = p-value

Pode-se perceber pelo teste de Mann-Whitney que, para o parâmetro alcalinidade, a um nível de significância de 5%, as alcalinidades em T1 e T2 são estatisticamente iguais, não havendo diferença significativa entre elas, levando a aceitar a hipótese nula. Isso contesta os resultados da pesquisa anterior por Felizatto (2000), quando os resultados dos testes apresentaram diferença significativa.

5.3.2 Potencial Hidrogeniônico – pH

As tilápias, quando expostas a pH baixo, mostram sinais de asfixia (movimentos operculares acelerados e boquejamento na superfície). Exposição a águas ácidas causa aumento na secreção de muco, irritação e inchaço nas brânquias, culminando com a destruição do tecido branquial. Os peixes morrem com a boca aberta e apresentam os olhos saltados (Kubitza, 2000).

Em viveiros com excesso de fitoplâncton (águas muito verdes) e baixa alcalinidade total (<30 mg de CaCO_3/L) o pH pode alcançar valores acima de 12 ao final da tarde, em dias muito ensolarados. Isso pode inibir o consumo de alimento e, se ocorrer com frequência, afetar o crescimento dos peixes, além de potencializar problemas com toxidez da amônia (Kubitza, 2000). A Tabela 5.14 e a Figura 5.13 mostram os valores de pH obtidos em amostras do afluente e no interior dos tanques piscícolas.

Tabela 5.14: Valores de pH no afluente e no interior dos tanques piscícolas.

Parâmetro	n	X_M	X_m	\bar{X}	S^2
pH1	79	9,3	7,3	8,0	0,39
pH2		10,0	6,7	9,1	0,66
pH3		10,1	8,5	9,4	0,30
pH4		10,1	8,5	8,8	0,30

Legenda: n = tamanho amostral, \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo, S^2 = desvio padrão, Afluente (pH1), T1 (pH2), T2 (pH3) e T3 (pH4)

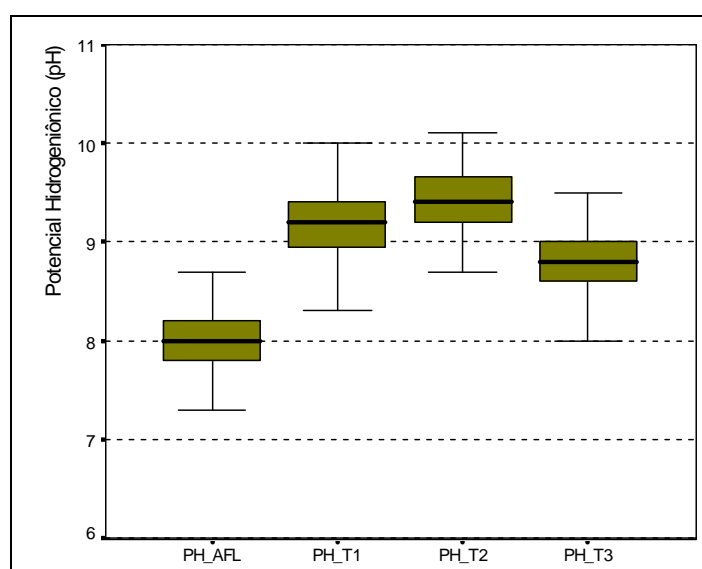


Figura 5.13: Box-plot de pH em amostras do afluente e no interior dos tanques piscícolas.

Em concordância com o reportado, os valores altos de pH obtidos nesta pesquisa podem ser explicados pela baixa alcalinidade observada em T1 e T2 e principalmente em T3.

O valor médio obtido para a variável pH está de acordo com o encontrado por Felizatto (2000) – 7,5 a 11 – e Machado (2006) em sua pesquisa, sendo que, nessa última, os valores ficaram próximos da neutralidade (pH=7,0). Souza (2002) observou em sua pesquisa que os valores de pH se mantiveram na faixa alcalina, constatação prevista, pois as algas, abundantes nos efluentes das lagoas de estabilização, ao realizarem a fotossíntese, retiram do meio a acidez carbônica, favorecendo o aumento do pH.

Nota-se que os valores encontrados para T1 e T2 ficaram acima do recomendado por Boyd (1990) para piscicultura (6,5 – 9,0). Observou-se também que ocorreu aumento de pH no interior dos tanques se comparado com o afluente. O tanque T3 também apresentou valores altos de pH, todavia, os valores atendem ao recomendado na literatura técnica, e, nesse tanque, o valor de pH não era fator limitante, uma vez, que o valor de amônia não era alto (água potável).

Após a construção dos gráficos *Box-plot*, foi conferida a curtose e assimetria para verificar se a série era normal e qual teste seria aplicado. Observou-se que para esse parâmetro a série se comportou como não sendo normal, pois apresentou relação de curtose e assimetria com seus respectivos erros padrões acima da faixa de -2 e +2 (Tabela 5.15), com isso prossegue-se com o teste não paramétrico (Tabela 5.16).

Tabela 5.15: Curtose e assimetria pH nas amostras de T1 e T2.

Parâmetro	Assimetria	Erro padrão	X	Curtose	Erro padrão	Y
pH_T1	-1,984	0,271	-7,32	4,563	0,54	8,529
pH_T2	-0,291	0,271	-1,07	0,468	0,54	0,875

Legenda: X = Assimetria dividida pelo erro padrão e Y = Curtose dividida pelo Erro Padrão

Tabela 5.16: Resultado do Teste de Mann-Whitney para pH em T1 e T2.

Parâmetro	N1	N2	R1	R2	U	Z(U)	p
pH_T1-pH_T2	79	79	63,89	95,11	1887	-4,307	0,00

Legenda: p = p-value

Para o parâmetro pH o teste resultou em rejeitar hipótese nula, ou seja, a um nível de significância de 5%, os tanques T1 e T2 apresentaram diferenças significativas, fato que pode ser explicado pelo acúmulo de *Lemna minor* popularmente chamada de Lentilha d'água em T1 que reduziu os valores de pH nesse tanque para a faixa ácida (abaixo de 7), estando em concordância com o exposto por Felizatto (2000) em que os resultados dos testes estatísticos para o parâmetro pH também apresentaram diferença significativa.

5.3.3 Condutividade Elétrica

Quando apresenta valores altos, a condutividade elétrica pode indicar grau de decomposição elevado e o inverso (valores reduzidos) indica acentuada produção primária (algas e microrganismos aquáticos), sendo, portanto, uma maneira de avaliar a disponibilidade de nutrientes nos ecossistemas aquáticos (Silva *et al.*, 1994). Os valores de condutividade estão sintetizados na Tabela 5.17 e Figura 5.14.

Tabela 5.17: Valores de condutividade ($\mu\text{S/cm}$) no interior dos tanques.

Parâmetro	n	X_M	X_m	\bar{X}	S^2
Cond_T1		215	68	135	50
Cond_T2	33	230	77	149	43
Cond_T3		58	33	44	7

Legenda: n = tamanho amostral, \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo e S^2 = desvio padrão

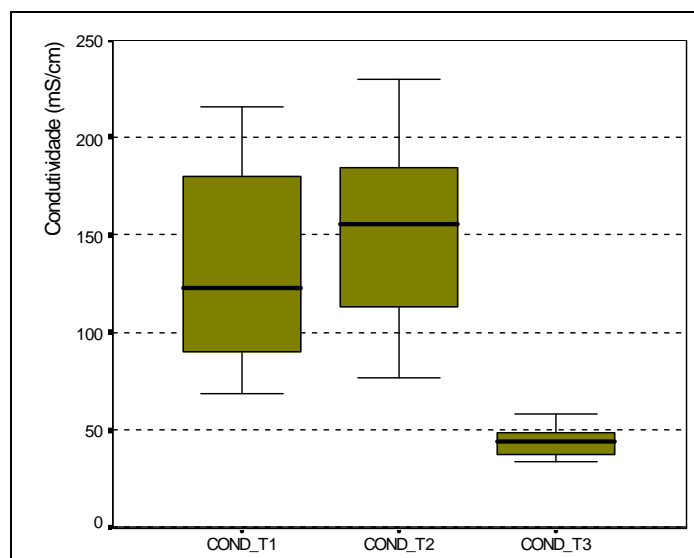


Figura 5.14: Box-plot de condutividade elétrica ($\mu\text{S/cm}$) no interior dos tanques de cultivo.

Pode-se observar que os valores médios de condutividade para T1 e T2 ficaram próximos, e estão de acordo com o encontrado por Machado (2006) e sendo inferiores aos reportados por Felizatto (2000). Nota-se que T3 apresentou valores baixos devido ao fato de ser alimentado com água potável, que apresenta baixa salinidade e, conseqüentemente, menor condutividade. Prosseguindo-se com a análise estatística, calculou-se a curtose e assimetria para verificar qual teste seria aplicado, notou-se que a série de dados se comportou como normal (Tabela 5.18). Executou-se assim, o teste *t* de Student como mostrado na Tabela 5.19.

Tabela 5.18: Curtose e Assimetria para condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Parâmetro	Assimetria	Erro padrão	X	Curtose	Erro padrão	Y
Cond_T1	0,152	0,409	0,37	-1,515	0,798	-1,90
Cond_T2	-0,208	0,409	-0,51	-1,126	0,798	-1,41

Legenda: X = Assimetria dividida pelo erro padrão e Y = Curtose dividida pelo Erro Padrão

Tabela 5.19: Teste *t* Student para condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Parâmetro	Média da diferença entre as variáveis	Desv. Padrão	Intervalo de confiança para a diferença 95%		t calculado	Grau de Liberdade (GL)	Significância (bicaudal) - p -
			Inf	Sup			
Cond_T1- Cond_T2	-14,271	22,74	-22,3	-6,2	-3,61	32	0,00

Legenda: p = *p-value*

Pelo resultado do teste *t*, nota-se que as médias dos tanques T1 e T2 apresentaram diferença, para um nível de significância de 5%, para a condutividade, levando a rejeitar a hipótese nula e conseqüentemente a aceitar a hipótese alternativa.

5.3.4 Transparência

A transparência é uma medida diretamente relacionada com a produção primária. A água de um viveiro ou tanque quando é transparente possibilita que se veja o fundo do mesmo, e se tem pouca produção biológica assimilável, conseqüentemente, faltam os alimentos naturais para o desenvolvimento dos peixes (Silva *et al.*, 1994).

Por outro lado, a turvação da água dos viveiros impede a penetração dos raios solares na coluna de água. A luz solar é fonte de energia essencial para os vegetais clorofilados (algas), que produzem substâncias orgânicas por meio da fotossíntese. Por isso, a transparência é um fator muito importante para a piscicultura. A parte do corpo d'água que recebe a luz pode variar em profundidade, de alguns centímetros e até alguns metros, dependendo do grau de turbidez, que pode ser influenciado tanto por fatores abióticos (partículas sólidas em suspensão) quanto por bióticos (algas e microrganismos) (Silva *et al.*, 1994). A estatística descritiva para transparência é mostrada na Tabela 5.20 e na Figura 5.15.

Tabela 5.20: Transparência (cm) no interior dos tanques piscícolas (n = 66).

Parâmetro	X_M	X_m	\bar{X}	S^2
Trans_T1	90	3	25	28
Trans_T2	90	7	23	26
Trans_T3	85	47	67	9

Legenda: n = tamanho amostral, \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo e S^2 = desvio padrão

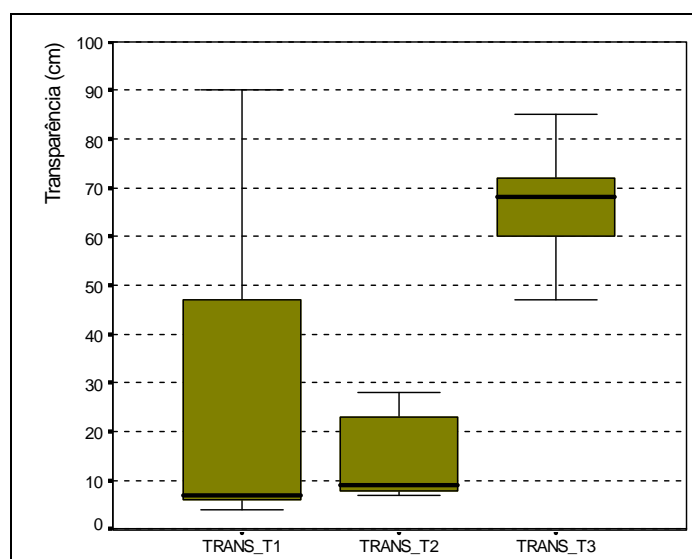


Figura 5.15: *Box-plot* de transparência (cm) no interior dos tanques piscícolas.

Os valores de transparência obtidos são menores do que os apresentados nos experimentos de Moscoso *et al.* (1992) – 18 e 20 cm e Felizatto (2000) - 12 e 11 cm, ficando próximos apenas da média encontrada por Machado (2006), que foi de 10 cm. A transparência foi maior no T3, o que já era esperado, pois se tratava de água potável sem entrada de esgoto.

Realizou-se o cálculo da relação entre curtose e assimetria com seus respectivos erros padrões para verificar se a série de dados era normal. Observou-se que, para esse parâmetro a série não se comportou com normal (Tabela 5.21) sendo necessária a aplicação do teste não paramétrico (Tabela 5.22).

Tabela 5.21: Curtose e assimetria para transparência (cm) nos tanques 1 e 2.

Parâmetro	Assimetria	Erro padrão	X	Curtose	Erro padrão	Y
Trans_T1	1,202	0,295	4,07	-0,12	0,582	-0,206
Trans_T2	1,841	0,295	6,24	1,937	0,582	3,328

Legenda: X = Assimetria dividida pelo erro padrão e Y = Curtose dividida pelo Erro Padrão

Tabela 5.22: Resultado do teste de Mann-Whitney para transparência (cm) para T1 e T2.

Parâmetro	N1	N2	R1	R2	U	Z(U)	p
Trans_T1-Trans_T2	66	66	56,79	76,21	1537	-2,932	0,00

Legenda: p = p-value

Pode-se notar pelo resultado do teste que, para a transparência, houve diferença significativa (5%) entre os tanques, levando a aceitar a hipótese alternativa. Entretanto, devido à florescência de *Lemna minor* (Lentilha d'água) que aconteceu no tanque 1 não se pode concluir se o peixe influencia de forma positiva ou negativa nesse caso.

5.3.5 Sólidos em Suspensão Totais (SST)

Handerson (1979) relata que a principal influência de peixes na qualidade da água é a redução de sólidos em suspensão e que a presença de peixes fitoplanctófagos em viveiros adubados mantém a concentração média de SST em torno de 17 mg/L, valor de duas a três vezes menores que o usual em lagoas de estabilização sem peixes.

Edwards (1992) expõe que experimentos americanos com criação de peixes em lagoas de estabilização visam conseguir concentração média de SST menor que 30 mg/L, valor preconizado pela USEPA. A Tabela 5.23 e Figuras 5.16 apresentam os valores de sólidos suspensos totais encontrados nas amostras analisadas.

Tabela 5.23: Concentração de sólidos em suspensão totais em amostra afluyente e no interior dos tanques piscícolas (mg/L).

Parâmetro	n	X _M	X _m	\bar{X}	S ²
SST_AFI		74	38	54	8
SST_T1	17	74	12	49	19
SST_T2		58	24	46	11
SST_T3		25	7	16	4

Legenda: n = tamanho amostral, \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo e S² = desvio padrão

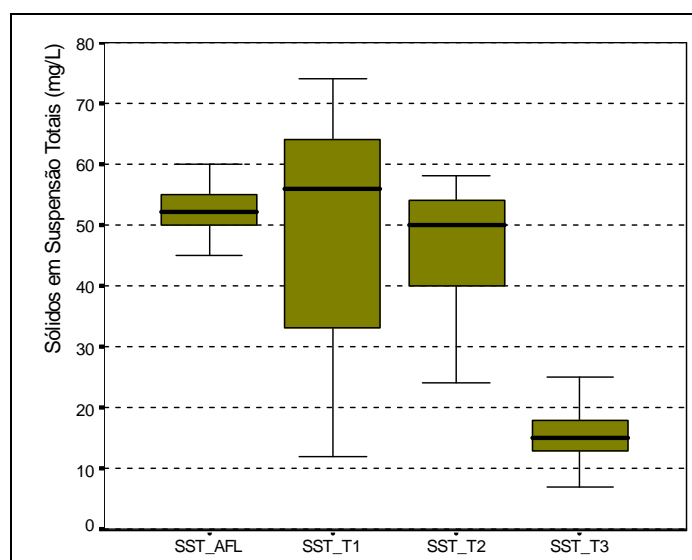


Figura 5.16: *Box-plot* de Sólidos em Suspensão Totais (mg/L) em amostra afluyente e no interior dos tanques piscícolas.

Nota-se que os valores medianos obtidos nesta pesquisa foram menores que os reportados por Felizatto (2000), fato que pode ser explicado pelo sistema de alimentação adotado (batelada) diferente da pesquisa anterior que foi contínuo.

Observa-se ainda concentração no interior dos tanques maior do que o preconizado pela USEPA para efluentes secundários. Não foi observada qualquer influência do peixe para o parâmetro sólido em suspensão total.

Prosseguindo com a análise estatística, calculou-se a relação curtose e assimetria com seus respectivos erros padrões para verificar se a distribuição era normal e assim dar continuidade aos testes estatísticos. Os resultados da curtose e assimetria são mostrados na Tabela 5.24 e como a série de dados para a variável SST se comportou como normal, foi aplicado o teste *t* de Student como apresentado na Tabela 5.25.

Tabela 5.24: Curtose e assimetria dos Tanques 1 e 2 para Sólidos Suspensos Totais (mg/L).

Parâmetro	Assimetria	Erro padrão	X	Curtose	Erro padrão	Y
SST_T1	-0,59	0,550	-1,07	-1,101	1,063	-1,036
SST_T2	-0,916	0,550	-1,67	-0,338	1,063	-0,318

Legenda: X = Assimetria dividida pelo erro padrão e Y = Curtose dividida pelo Erro Padrão

Tabela 5.25: Resultado do teste *t* Student para Sólidos Suspensos Totais (mg/L).

Parâmetro	Média da diferença entre as variáveis	Desv. Padrão	Intervalo de confiança para a diferença 95%		t calculado	Grau de Liberdade (GL)	Significância (bicaudal) - p -
			Inf	Sup			
SST_T1- SST_T2	2,47	13,06	-4,2	9,2	0,78	16	0,447

Legenda: p = *p-value*

Pode-se concluir pelo teste *t* de Student que não houve diferença significativa para Sólidos em Suspensão Totais, ou seja, aceita a hipótese nula. Pelos valores médios obtidos não foi possível verificar se o peixe influenciou de forma positiva ou negativa na qualidade do efluente, ao contrário do relatado por Felizatto (2000), onde os tanques apresentaram diferenças significativas levando a concluir que os peixes influenciaram de forma positiva na melhora do efluente, havendo redução de SST.

5.3.6 Clorofila-a

A clorofila-a é de suma importância para a piscicultura, pois é um indicador de biomassa algal, para Boyd (1997) a concentração mínima ideal é de 50 µg/L.

A Tabela 5.26 e Figura 5.17 mostram as concentrações de clorofila-a obtidos em amostra afluyente e no interior de T1 e T2 durante a segunda fase dessa pesquisa.

Tabela 5.26: Concentração de Clorofila-a (µg/L) em amostras afluyente no interior dos tanques piscícolas.

Parâmetro	n	X _M	X _m	\bar{X}	S ²
Clo_AFL		1734	948	1337	219
Clo_T1	12	2318	269	1382	606
Clo_T2		1718	1032	1294	241

Legenda: n = tamanho amostral, \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo, S² = desvio padrão,

Como pode ser visto na Figura 5.18 os valores medianos obtidos para Clorofila-a em T1 e T2 foram próximos, sendo que T2 apresentou uma média um pouco menor. Contudo, apesar de T1 ter ficado coberto por *Lemna minor* durante praticamente toda pesquisa, esse valor é um indicativo de que o peixe influencia de forma positiva nesse parâmetro, em concordância com o reportado por Felizatto (2000).

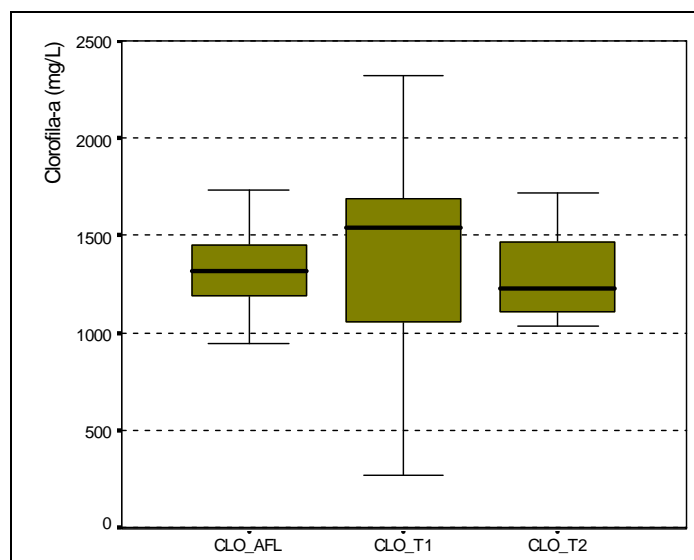


Figura 5.17: *Box-plot* de Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) amostra do afluente e no interior de T1 e T2.

Pelo exposto, pode-se concluir que os peixes mantêm certo equilíbrio dentro do tanque, pois não foi observada qualquer formação de algas suspensas em T2, levando a crer que o peixe influencia de forma positiva no processo.

Em continuidade com o teste estatístico foi calculada a relação curtose e assimetria com seus respectivos erros padrões para verificar a se a série de dados do parâmetro clorofila-a se comportava como normal (Tabela 5.27). Após verificar que a série é normal, aplicou-se o teste *t* de Student (Tabela 5.28).

Tabela 5.27: Curtose e assimetria dos Tanques 1 e 2 para Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$).

Parâmetro	Assimetria	Erro padrão	X	Curtose	Erro padrão	Y
Clo_T1	-0,568	0,637	-0,89	-0,238	1,232	-0,193
Clo_T2	0,788	0,637	1,24	-0,702	1,232	-0,570

Legenda: X = Assimetria dividida pelo erro padrão e Y = Curtose dividida pelo Erro Padrão

Tabela 5.28: Resultado do teste *t* Student para Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$).

Parâmetro	Média da diferença entre as variáveis	Desv. Padrão	Intervalo de confiança para a diferença 95%		t calculado	Grau de Liberdade (GL)	Significância (bicaudal) - p -
			Inf	Sup			
Clo_T1- Clo_T2	72,92	553,68	-278,5	424,4	0,46	11	0,657

Legenda: p = *p-value*

Percebe-se que pelo teste *t* não houve diferença significativa para concentração de Clorofila-a para T1 e T2, levando a aceitar a hipótese nula. Apesar de T2 ter apresentado valor mediano um pouco inferior a T1, essa diferença não é significativa, contradizendo o encontrado por Felizatto (2000), que o tanque em que havia peixes reduziu em torno de 12% o valor de clorofila-a, afirmando que o peixe influencia de forma positiva nesse caso. Vale ressaltar que o sistema de alimentação dos tanques foi diferente o que pode ter influenciado de forma direta na redução de clorofila-a no interior dos tanques de cultivo.

5.3.7 Temperatura

A temperatura é um parâmetro físico de qualidade da água e extremamente importante na piscicultura, uma vez que influencia de forma direta no metabolismo e comportamento biológico, podendo reduzir o apetite e o crescimento dos peixes.

A temperatura foi monitorada diariamente durante as 24 horas do dia num intervalo de 1 hora até o final do experimento, no interior dos tanques de cultivo (T1, T2 e T3). A Tabela 5.29 e Figura 5.18 mostram as médias mensais de temperatura obtidas no interior dos tanques piscícolas.

Tabela 5.29: Dados de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) diária no interior dos tanques de cultivo.

Parâmetro	n	\bar{X}	X_M	X_m	S^2
Temp_T1	141	26,2	30,4	22,4	1,3
Temp_T2	143	23,8	30,4	21,1	1,7
Temp_T3	143	24,6	30,4	22,8	1,3

Legenda: n = tamanho amostral, \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo e S^2 = desvio padrão

As temperaturas médias obtidas para os tanques de cultivo estão abaixo do reportado na literatura técnica e não apresentaram muita diferença entre os tanques com esgoto e com água limpa (Figura 5.18). Entretanto, não foi monitorada a temperatura ao longo da profundidade dos tanques o que impossibilitou fazer um perfil e saber se houve estratificação térmica como observado na pesquisa de Felizatto (2000).

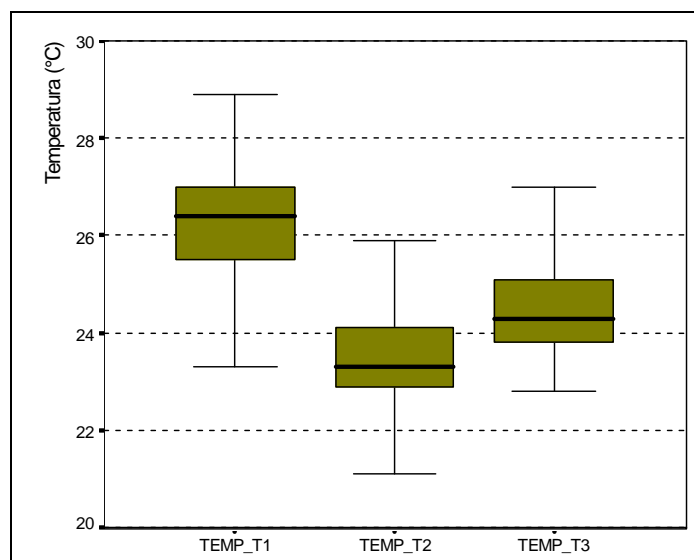


Figura 5.18: *Box-plot* de temperatura (°C) média diária no interior dos tanques piscícolas.

Dando continuidade à análise estatística realizou-se o cálculo da relação entre curtose e assimetria com seus respectivos erros padrões e verificou se a distribuição dos dados de temperatura era normal (Tabela 5.30). Como a série não se apresentou como normal prosseguiu-se com o teste não paramétrico de Mann-Whiney (Tabela 5.31).

Tabela 5.30: Valores de curtose e assimetria para temperatura diária (°C) em T1 e T2.

Parâmetro	Assimetria	Erro padrão	X	Curtose	Erro padrão	Y
Temp_T1	-0,386	0,204	-1,89	1,51	0,406	3,719
Temp_T2	1,273	0,293	4,34	1,787	0,403	4,434

Legenda: X = Assimetria dividida pelo erro padrão e Y = Curtose dividida pelo Erro Padrão

Tabela 5.31: Resultado do teste de Mann-Whitney para temperatura (°C) em T1 e T2.

Parâmetro	N1	N2	R1	R2	U	Z(U)	p
Temp_T1-Temp_T2	141	142	192,84	91,52	2843	-10,414	0,00

Legenda: p = p-value

Observa-se pela Tabela 5.31 que os valores de temperatura para os Tanques 1 e 2 são estatisticamente diferentes, levando a rejeitar a hipótese nula. Nesse caso, o tanque que tinha peixes apresentou temperatura média mais baixa se comparada com o tanque que estava só com esgoto em torno de 2 °C, fato que não pode ser reputado a presença de peixes, porque T1 foi tomado por lentilha d'água o que deve ter influenciado no aumento de temperatura nesse tanque.

5.3.8 Oxigênio Dissolvido

Entre os gases dissolvidos, o oxigênio é o mais importante e absolutamente indispensável à vida da maioria dos organismos que vivem num ambiente aquático (peixes, insetos, algas, plantas superiores, etc). O oxigênio provém da atmosfera ou das plantas verdes submersas. Assim, geralmente, depois de uma noite quente, uma massa de água rica em algas, pode ficar desprovida de oxigênio ao ponto de provocar a asfixia dos peixes, e sabe-se que, nessas condições, a água se encontra com uma elevada porcentagem de anidrido carbônico dissolvido (FAO, 1988).

Em lagoas de estabilização, a principal fonte de Oxigênio Dissolvido (OD) para a respiração dos peixes e dos microrganismos provém do oxigênio fotossintético realizado pelo fitoplâncton. O oxigênio atmosférico, que pode difundir-se no meio líquido, só é considerado uma fonte importante em lagoas de estabilização maiores que 10 ha de superfície líquida e com o tempo de detenção superior a 20 dias. O oxigênio proveniente do ar representa uma parcela muito pequena, principalmente quando se verifica que a superfície das lagoas facultativas se encontra supersaturada, resultando, ao contrário, numa perda de oxigênio para a atmosfera (Uehara e Vidal, 1989). Os resultados da estatística descritiva para OD medido no afluente e no interior dos tanques de cultivo são apresentados na Tabela 5.32 e Figura 5.19.

Tabela 5.32: Estatística descritiva dos valores de OD (mg/L) no interior dos tanques de cultivo (n=29).

Parâmetro	\bar{X}	X_M	X_m	S^2
OD1	3,2	6,6	0,8	1,7
OD2	4,2	6,7	2,1	1,2
OD3	6,9	9,7	4,1	1,4

Legenda: n = tamanho amostral, \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo e S^2 = desvio padrão.

Pode-se notar pela Figura 5.19 que o valor mediano de OD no tanque T2 foi um pouco maior que a do tanque T1, o que pode ter facilitado a sobrevivência dos peixes. No tanque T2 não foram observadas concentrações inferiores a 2,1 mg/L de OD, o que é compatível com o valor mínimo encontrado por Felizatto (2000) e recomendado por Peirong (1989) para a criação de tilápia. O baixo valor obtido para T1 pode ser explicado, pelo fato do tanque ter ficado tomado por *Lemna minor* (lentilha d'água) a maior parte da pesquisa, o que dificultou a entrada da luz solar e, conseqüentemente, provocou a redução do processo de fotossíntese.

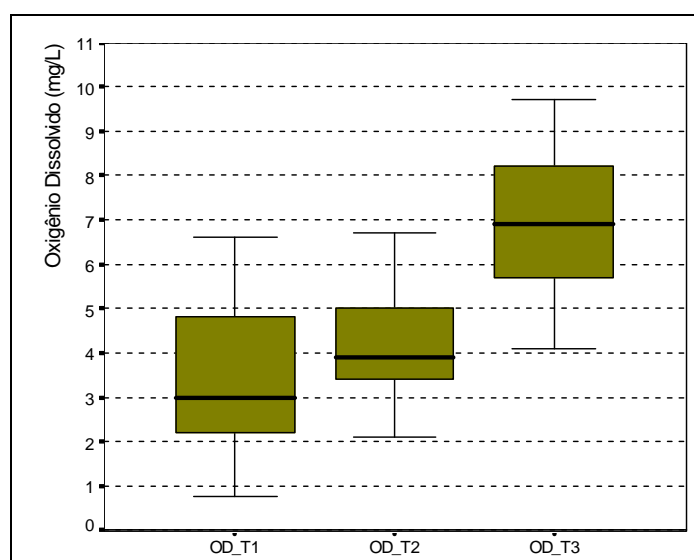


Figura 5.19: *Box-plot* das concentrações de OD (mg/L) no interior dos tanques de piscicultura.

Apesar de não ter sido medido em diferentes profundidades, como Machado (2006), pode-se inferir, por relação, que os valores obtidos nessa pesquisa para oxigênio dissolvido no fundo do tanque foi de aproximadamente de 1,8 mg/L de OD.

Seguindo-se com a análise estatística, calculou-se a relação da curtose e assimetria com seus respectivos erros padrões (Tabela 5.33) e notou-se que a série de dados para a variável OD se comportou como normal, executando assim o teste *t* de Student (Tabela 5.34).

Tabela 5.33: Curtose e assimetria de OD (mg/L) nos tanques 1 e 2.

Parâmetro	Assimetria	Erro padrão	X	Curtose	Erro padrão	Y
OD_T1	0,248	0,434	0,57	-1,059	0,845	-1,253
OD_T2	0,342	0,434	0,79	-0,968	0,845	-1,146

Legenda: X = Assimetria dividida pelo erro padrão e Y = Curtose dividida pelo Erro Padrão

Tabela 5.34: Resultado do teste *t* de Student para variável OD (mg/L) em T1 e T2.

Parâmetro	Média da diferença entre as variáveis	Desv. Padrão	Intervalo de confiança para a diferença 95%		t calculado	Grau de Liberdade (GL)	Significância (bicaudal) - p -
			Inf	Sup			
OD_T1-OD_T2	-0,989	1,65	-1,6	-0,4	-3,23	28	0,00

Legenda: p = *p-value*

O teste mostra que há diferença significativa para um intervalo de confiança de 95% entre T1 e T2, orientando a rejeitar a hipótese nula, o que pode ser explicado pelo fato de T1 ter ficado com toda superfície tomada por lentilha d'água o que provocou um déficit de oxigênio nesse tanque muito grande, chegando próximo de zero.

5.3.9 Nitrogênio

Para Kubitzka (2000), o nitrogênio aplicado por meio dos fertilizantes e o presente na proteína das rações são as principais fontes deste nutriente em viveiros alimentados com ração. Uma fração do nitrogênio das rações não é assimilada pelos peixes, sendo excretada pelas fezes. Do nitrogênio assimilado, outra parte será excretada através das brânquias e urina na forma de amônia. A Tabela 5.35 e as Figuras 5.20, 5.21, 5.22 e 5.23 mostram os dados e os gráficos *Box-plot* para as diferentes formas de nitrogênio analisadas.

Tabela 5.35: Valores de NH₃, NH₄⁺, NO_x e NTK (mg/L) em amostras do afluente e no interior dos tanques piscícolas.

Parâmetro	n	X _M	X _m	\bar{X}	S ²
NH3_T1	76	0,89	0,00	0,52	0,22
NH3_T2	76	0,88	0,18	0,63	0,15
NH3_T3	76	0,7	0,02	0,32	0,15
NH4_AFL	65	42,8	0,02	26,3	6,8
NH4_T1	76	7,2	0,02	3,0	1,9
NH4_T2	76	6,1	0,31	2,6	1,6
NH4_T3	76	2,5	0,00	0,5	0,5
NOx_AFL	5	1,86	0,005	0,58	0,82
NOx_T1	7	3,70	0,619	1,99	0,99
NOx_T2	7	4,20	0,817	2,27	1,29
NOx_T3	7	0,02	0,004	0,01	0,01
NTK_AFL	100	38,1	14,8	22,5	3,8
NTK_AFLf	53	28,3	7,7	15,1	2,4
NTK_T1	53	11,2	1,6	6,6	2,2
NTK_T2	53	9,9	2,0	6,3	2,0
NTK_T3	53	3,6	0,8	1,7	0,7

Legenda: n = tamanho amostral, \bar{X} = média aritmética, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo e S² = desvio padrão, NTK_AFLf = amostra do afluente filtrado.

A taxa de crescimento do fitoplâncton é determinada pela disponibilidade de nutrientes na água e no solo dos viveiros quando adubados. A disponibilidade de nutrientes para esse crescimento depende das diferentes algas existentes que demandam um suprimento diferenciado. Alguns nutrientes ocorrem em concentrações abaixo das exigidas para estimular uma grande produção de massa planctônica. Dentre esses nutrientes pode-se destacar o fósforo, carbono e o nitrogênio (Kubitza, 2000).

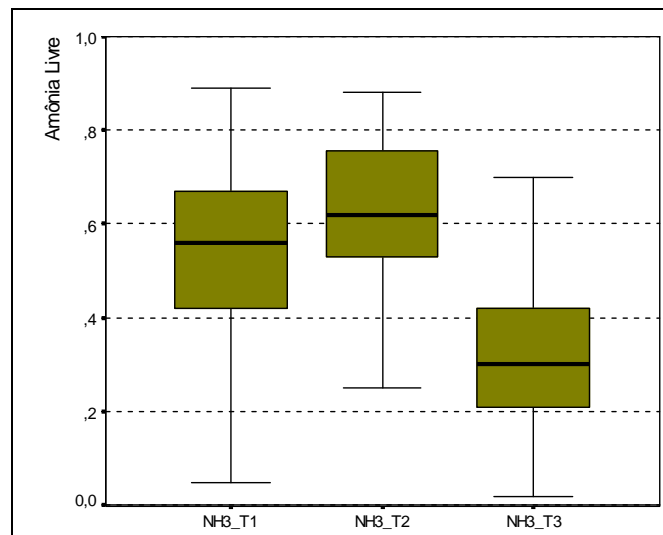


Figura 5.20: *Box-plot* das concentrações calculadas de amônia livre (NH_3) (mg/L) no interior dos tanques de cultivo.

Nota-se pela Figura 5.20 que T2 apresentou valor médio de amônia livre ligeiramente maior que T1, sendo que T1 chegou a ter valores próximos de zero o que pode ser explicado pelo fato desse tanque ter ficado com toda a sua superfície tomada por lentilha d'água, planta aquática responsável por remover nutrientes, não se podendo concluir qualquer interferência (seja positiva ou negativa) do peixe sobre essa variável. O tanque 3 apresentou valores baixos por se tratar de água potável, devendo-se observar que alguns picos de amônia livre nesse tanque podem estar associados às excretas dos peixes.

Na Figura 5.21 é apresentada as concentrações de amônio em amostras no afluente, e no interior dos tanques T1, T2 e T3. Percebe-se pela Figura 5.21 que o procedimento de alimentação por batelada foi adequado, permanecendo no interior dos tanques um valor controlado cerca de 3,0 mg/L, em T3 os valores foram baixos, o que já era esperado, pelo fato de se tratar de água potável, acrescentada apenas de ração e excretas dos peixes (única fonte de nutriente no tanque).

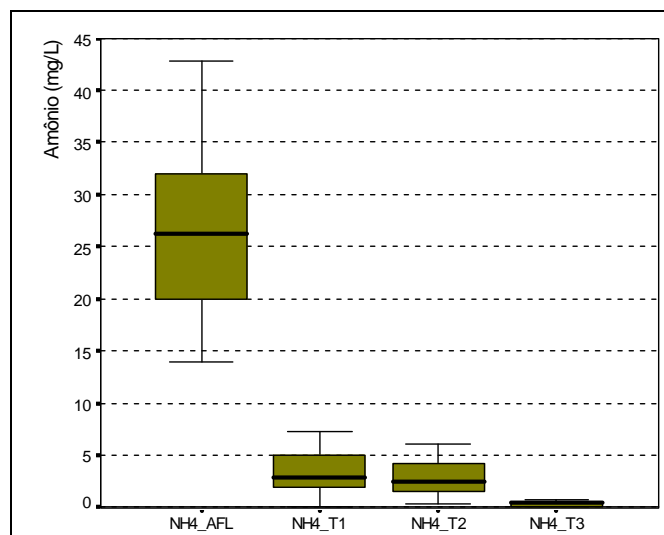


Figura 5.21: *Box-plot* das concentrações de amônio (mg/L) em amostra do afluente e no interior dos tanques piscícolas.

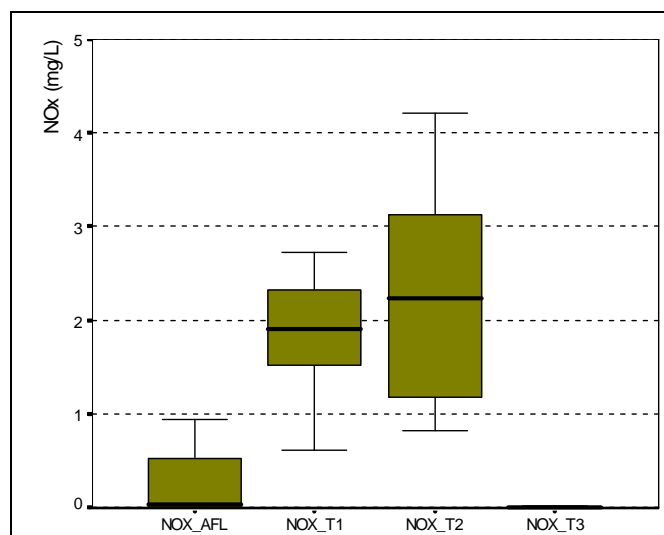


Figura 5.22: *Box-plot* das concentrações de NO_x (mg/L) em amostra do afluente e no interior dos tanques.

Para a variável NO_x (Figura 5.22) T2 apresentou valor mediano maior que T1 e observou-se um aumento desse parâmetro se comparado com o afluente. Dos valores calculados para T1 e T2 nota-se que foram inferiores ao observado por Felizatto (2000), em T3 já era esperado baixa concentração de nitrito e nitrato, por ser água potável sem entrada de esgoto.

Ao contrário do que foi obtido na presente pesquisa, Felizatto (2000) observou resultados maiores para a concentração de amônio e menores para nitrogênio nitrificado no tanque em que havia peixes, revelando uma tendência das excretas liberadas pelos peixes em aumentar nitrogênio amoniacal.

Pode-se notar pela Figura 5.23 que T1 e T2 apresentaram medianas semelhantes para NTK, o que mostra que o sistema de alimentação por batelada foi eficiente, pois o intuito era manter no tanque uma taxa de 4 Kg NT/ha.dia, e os valores encontrados foram expressivamente inferiores ao do trabalho de Felizatto (2000) com tanques alimentados em fluxo contínuo.

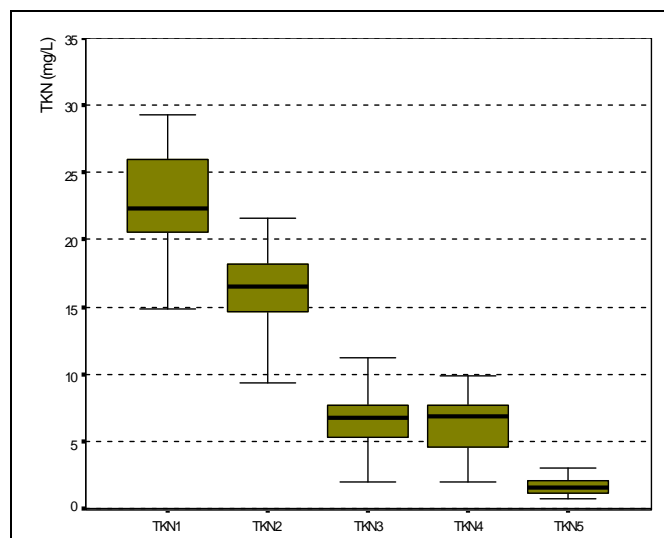


Figura 5.23: *Box-plot* das concentrações de NTK (mg/L) afluente e no interior dos tanques.
 Legenda: Afluente (NTK1), Afluente filtrado (NTK2), T1 (NTK3), T2 (NTK4) e T3 (NTK5)

Após realizar a estatística descritiva, foi feita a distribuição de frequência para calcular a relação da assimetria e curtose pelos seus respectivos erros padrões (Tabela 5.36), a fim de saber como se comportava a série de dados de nitrogênio, possibilitando assim saber qual teste estatístico seria aplicado.

Tabela 5.36: Curtose e assimetria para valores de nitrogênio (mg/L) em amostras do afluente e no interior dos tanques de cultivo.

Parâmetro	Assimetria	Erro padrão	X	Curtose	Erro padrão	Y
NH ₃ _T1	-0,72	0,271	-2,66	0,084	0,535	0,157
NH ₃ _T2	-0,466	0,271	-1,72	0,227	0,535	0,424
NH ₄ _T1	0,476	0,276	1,72	-0,741	0,545	-1,360
NH ₄ _T2	0,499	0,276	1,81	-0,901	0,545	-1,653
NO _x _T1	0,614	0,794	0,77	0,749	1,587	0,472
NO _x _T2	0,362	0,794	0,46	-1,386	1,587	-0,873
NTK_T1	-0,163	0,327	-0,50	-0,141	0,644	-0,219
NTK_T2	-0,643	0,327	-1,97	-0,489	0,644	-0,759

Legenda: X = Assimetria dividida pelo erro padrão e Y = Curtose dividida pelo Erro Padrão

Observou-se que das 4 formas de nitrogênio analisadas apenas o NH₃ não se comportou como normal sendo necessário executar o teste não paramétrico de Mann-Whitney (Tabela 5.37), para as outras formas, por apresentarem série normal, foi aplicado o teste *t* de Student (Tabela 5.38).

Tabela 5.37: Resultado do teste de Mann-Whitney para amônia livre (mg/L) em T1 e T2.

Parâmetro	N1	N2	R1	R2	U	Z(U)	<i>p</i>
NH ₃ _T1- NH ₃ _T2	79	79	68,22	90,78	2229,5	-3,09	0,00

Legenda: *p* = *p-value*

Tabela 5.38: Valores do teste *t* de Student para as variáveis (mg/L) que tiveram distribuição normal.

Parâmetro	Média da diferença entre as variáveis	Desv. Padrão	Intervalo de confiança para a diferença 95%		<i>t</i> calculado	Grau de Liberdade (GL)	Significância (bicaudal)
			Inf	Sup			- <i>p</i> -
NH ₄ _T1-NH ₄ _T2	0,3568	0,6352	0,2117	0,502	4,90	75	0,00
NO _x _T1-NO _x _T2	-0,2793	1,0945	-1,2915	0,733	-0,68	6	0,53
NTK_T1-NTK_T2	0,2768	1,4706	-0,1286	0,6821	1,37	52	0,18

Legenda: *p* = *p-value*

Analisando os dados dos testes aplicados, pode-se verificar que, para os parâmetros amônia livre (NH₃) e íon amônio (NH₄⁺), rejeita-se a hipótese nula, verificando, que a um nível de significância de 5%, as médias dos tanques 1 e 2 apresentam diferenças. Vale ressaltar que apesar de T2 ter apresentado média menor para a variável amônio, T1 apresentou valores próximo de zero, fato que pode ser explicado porque esse tanque teve toda sua superfície tomada por *Lemna minor*, visto que essa planta é muito eficiente na remoção de amônia. Mas do ponto de vista prático essas diferenças são tão pequenas que, operacionalmente, não faria muito sentido adotar essa solução. Já para as variáveis NTK e NO_x, os testes mostraram que as médias dos tanques não apresentam diferença significativa para um intervalo de confiança de 95%, levando a aceitar a hipótese nula.

5.3.10 Ortofosfato

O fósforo é considerado o elemento limitante da produtividade de um viveiro por ser, de um lado, um nutriente essencial a toda a cadeia alimentar e de outro, apresentar-se em baixas

concentrações na água. A forma predominante do fósforo em águas de tanque de piscicultura é o ortofosfato, prontamente assimilável pelo fitoplâncton, que é a fonte de nutriente para os peixes (Bastos, 2003). A Tabela 5.39 apresenta os valores de ortofosfato obtidos em amostras do afluente e no interior dos tanques de cultivo e a Figura 5.24 mostra o *Box-plot* do conjunto de dados.

Tabela 5.39: Valores de ortofosfato (mg/L) afluente e no interior dos tanques de cultivo.

Parâmetro	n	X_M	X_m	\bar{X}	S^2
Orto_AFL	7	15	8,00	13,3	2,6
Orto_T1	6	5	2,80	4,20	1,6
Orto_T2	6	5	3,50	4,30	0,7
Orto_T3	5	0,12	0,01	0,05	0,04

Legenda: n = tamanho amostral, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo, \bar{X} = média aritmética e S^2 = desvio padrão.

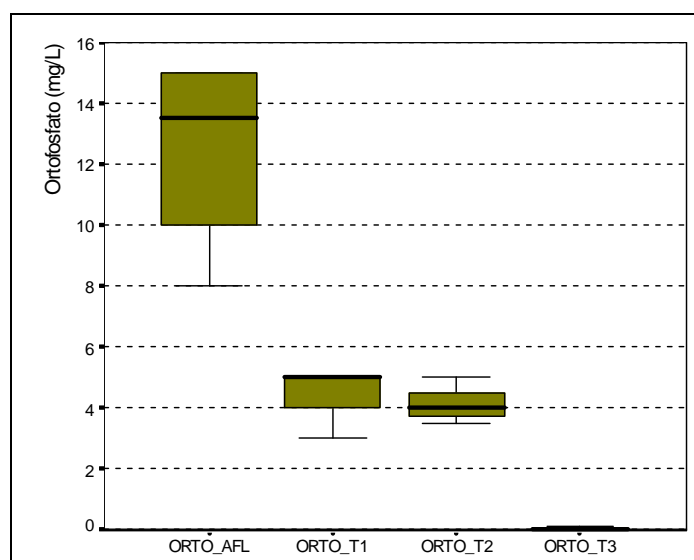


Figura 5.24: *Box-plot* das concentrações de ortofosfato (mg/L) encontrados em amostra e no interior dos tanques piscícolas.

Segundo Kubitza (2000), os peixes podem atuar por três mecanismos em relação ao ciclo do fósforo: (a) remoção produzida pela alimentação do fitoplâncton em suspensão ou sedimentado; (b) pela liberação do fósforo inorgânico para a coluna d'água através do hábito de revolver o fundo para se alimentar e (c) por meio de suas excreções – fezes e urina.

Diferente do reportado por Felizatto (2000), a mediana de ortofosfato para o tanque que continha peixes foi menor, não confirmando o que a literatura preconiza que a tilápia aumenta a concentração por meio das excretas ou quando se alimenta, provoca a liberação do fosfato do sedimento para a coluna d'água.

Posteriormente a realização da estatística descritiva, prosseguiu-se com a análise da relação da curtose e assimetria pelos seus respectivos erros padrões, para a variável ortofosfato para analisar se a distribuição é normal ou não. Os valores encontrados da relação de curtose e assimetria pelos erros são mostrados na Tabela 5.40. Nota-se que a série de dados para a variável ortofosfato não se apresentou como normal, por isso prosseguiu-se com o teste de Mann-Whitney (Tabela 5.41).

Tabela 5.40: Curtose e assimetria para ortofosfato (mg/L) no interior dos tanques de cultivo.

Parâmetro	Assimetria	Erro padrão	X	Curtose	Erro padrão	Y
Orto2	1,376	0,845	1,63	0,614	1,741	0,353
Orto3	2,437	0,845	2,88	5,952	1,741	3,419

Legenda: X = Assimetria dividida pelo erro padrão e Y = Curtose dividida pelo Erro Padrão

Tabela 5.41: Resultado do teste de Mann-Whitney para ortofosfato (mg/L).

Parâmetro	N1	N2	R1	R2	U	Z(U)	p
Orto1-Orto2	6	6	7,33	5,67	13	-0,832	0,406

Legenda: p = p-value

O resultado do teste de Mann-Whitney para ortofosfato mostra que se deve aceitar a hipótese nula, verificando que as médias não apresentam diferença significativa de 5% para ortofosfato. Esse dado contradiz com o obtido por Felizatto (2000) onde o tanque em que havia peixes apresentou média maior confirmando o que relata a literatura técnica, na qual peixes do gênero tilápia influenciam de forma negativa, aumentando a concentração de fósforo inorgânico na água.

5.3.11 Matéria Orgânica (DBO e DQO)

A matéria orgânica presente na água foi medida por meio das análises da Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) realizadas no afluente e no interior dos tanques piscícolas.

A ação de peixes para melhoria da qualidade das águas residuárias, ocorrida pela predação do fitoplâncton, é uma alternativa importante a ser considerada na reciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes, principalmente na forma suspensa, presente nos efluentes de lagoas

de maturação (Edwards, 1992). Os resultados obtidos para DBO e DQO estão sintetizados na Tabela 5.42 e expostos nos gráficos *Box-plot* das Figuras 5.25 e 5.26.

Tabela 5.42: Valores de matéria orgânica (mg/L) encontrados em amostra do afluente e nos tanques de cultivo.

Parâmetro	n	X_M	X_m	\bar{X}	S^2
DBO_AFL	12	65	25	45	12,8
DBO_T1	12	70	15	49	21,4
DBO_T2	12	60	20	48	13,4
DBO_T3	12	35	15	21	6,4
DQO_AFL	17	294	91	156	64,0
DQO_T1	17	288	55	118	62,1
DQO_T2	17	241	46	133	48,0
DQO_T3	17	44	11	28	9,0

Legenda: n = tamanho amostral, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo, \bar{X} = média aritmética e S^2 = desvio padrão.

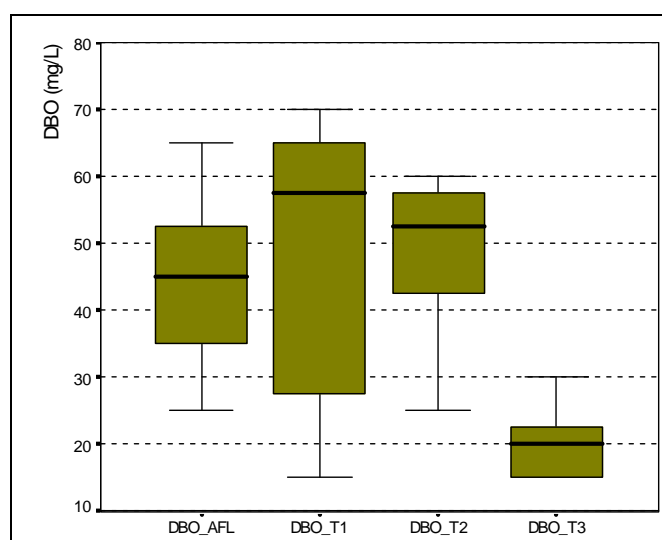


Figura 5.25: *Box-plot* das concentrações de DBO (mg/L) afluente e no interior dos tanques.

Azevedo *et al.* (1993) observaram que a presença de peixes em uma lagoa facultativa provocou a melhoria na remoção de DBO_5 de 70,9% para 84,0% e de DQO de 59,6 para 74,0%, indicado pelos valores medianos dos dados do efluente.

Não foi observada remoção de DBO (Figura 5.25) nos tanques em que havia esgoto. Nota-se que as medianas para DBO nos tanques que eram abastecidos com esgoto (T1 e T2) foram próximas, diferentemente do que foi encontrado por Felizatto (2000), cujo tanque em que não havia peixes apresentou média inferior. Os valores encontrados para T3 têm influência dos

dejetos dos peixes e da decomposição da ração remanescente que fica no tanque, porém quando T1 e T2 foram cheios com água potável constatou-se uma DBO maior que a esperada para água potável com média de 54 e 53 mg/L respectivamente, fato que pode ser explicado por esses tanques terem sido cheios anteriormente com esgoto da lagoa de polimento.

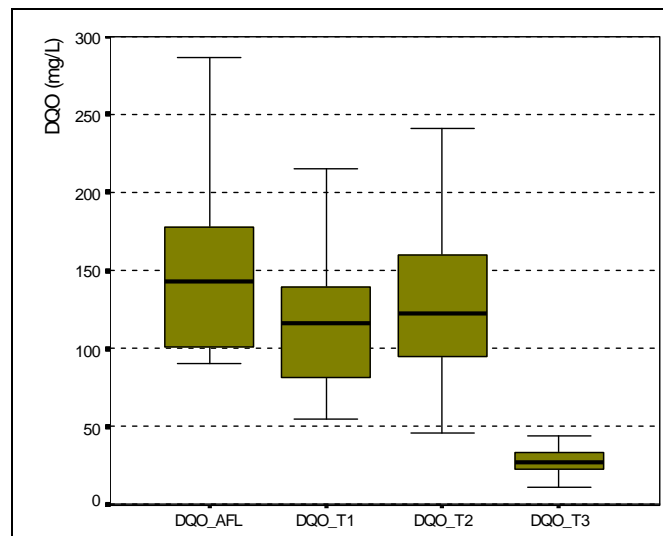


Figura 5.26: *Box-plot* das concentrações de DQO (mg/L) em amostras do afluente e no interior dos tanques.

Dos valores de DQO analisados (Figura 5.26) em T1 e T2 observou-se que as medianas ficaram próximas, tendo T2 apresentado pequeno aumento, de acordo com Felizatto (2000), justificado pelas excretas dos peixes. Contudo, a DQO nesta pesquisa mostrou dados inferiores ao da pesquisa citada, no tanque T3 o valor médio foi de acordo com o obtido na análise da água potável da CAESB realizada no início dessa fase.

Foi calculada a relação da curtose e assimetria pelos seus respectivos erros padrões para verificar se a distribuição da série era normal (Tabela 5.43). Observou-se que para DBO (Tabela 5.43) a série se comportou como normal, sendo possível executar o teste *t* de Student (Tabela 5.44). Já para a variável DQO a série não se comportou como normal sendo executado o teste não paramétrico de Mann-Whitney (Tabela 5.45).

Os testes estatísticos mostraram que os valores medianos de DBO e DQO analisados no interior de T1 e T2 não apresentaram diferença significativa, levando a aceitar a hipótese nula, indo de acordo com o relatado por Felizatto (2000), concluindo que o reúso em piscicultura

tem a vantagem de não causar impacto negativo ao meio ambiente, ou seja, a presença de peixes não aumenta os teores de matéria orgânica no efluente dos tanques piscícolas.

Tabela 5.43: Curtose e assimetria para matéria orgânica (mg/L) em amostras dos tanques 1 e 2

Parâmetro	Assimetria	Erro padrão	X	Curtose	Erro padrão	Y
DBO_T1	-0,799	0,637	-1,25	-1,128	1,232	-0,916
DBO_T2	-1,269	0,637	-1,99	0,663	1,232	0,538
DQO_T1	1,519	0,550	2,76	1,961	1,063	1,845
DQO_T2	0,328	0,564	0,58	0,243	10,91	0,022

Legenda: X = Assimetria dividida pelo erro padrão e Y = Curtose dividida pelo Erro Padrão

Tabela 5.44: Resultado do teste *t* de Student para matéria orgânica (mg/L) nos tanques 1 e 2.

Parâmetro	Média da diferença entre as variáveis	Desv. Padrão	Intervalo de confiança para a diferença 95%		t calculado	Grau de Liberdade (GL)	Significância (bicaudal) - <i>p</i> -
			Inf	Sup			
DBO_T1- DBO_T2	0,83	11,84	-6,7	8,4	0,24	11	0,812

Legenda: *p* = *p-value*

Tabela 5.45: Teste de Mann-Whitney para DQO (mg/L) nos tanques 1 e 2.

Parâmetro	N1	N2	R1	R2	U	Z(U)	<i>p</i>
DQO_T1- DQO_T2	17	16	14,94	19,19	101	-1,261	0,21

Legenda: *p* = *p-value*

De acordo com von Sperling (2006) a relação DQO/DBO em esgotos domésticos brutos varia em torno de 1,7 a 2,4. Para esgotos industriais, no entanto, essa relação pode variar amplamente. Dependendo da magnitude da relação, pode-se tirar conclusões sobre a biodegradabilidade dos despejos e do método de tratamento a ser empregado. A Tabela 5.46 mostra os valores da relação DQO/DBO calculada para as amostras de água do afluente e no interior dos tanques de cultivo e a Figura 5.27 apresenta um *Box-plot* desses valores.

Admite-se uma relação DQO/DBO baixa aquela que apresenta valores < 2,5 indicando que a fração biodegradável é elevada e sugere tratamento biológico, relação intermediária valores entre 2,5 e 3,5 onde a fração biodegradável não é elevada e sugere-se estudos de tratabilidade para verificar a viabilidade do tratamento biológico e uma relação elevada com valores > 3,5 ou 4,0 indicando que a fração inerte é elevada sendo possível indicação para tratamento físico-químico (von Sperling, 2006).

Esse mesmo autor relata que essa relação varia também à medida que o esgoto passa pelas diversas unidades da estação de tratamento. A tendência para a relação é de aumentar, devido à redução paulatina da fração biodegradável, ao passo que a fração inerte permanece aproximadamente inalterada. Assim, o efluente final do tratamento biológico possui valores da relação DQO/DBO usualmente superiores a 2,5. Quanto maior a eficiência do tratamento na remoção de matéria orgânica biodegradável, maior esta relação, que pode chegar a 4,0 ou 5,0.

Tabela 5.46: Relação DQO/DBO da amostra do afluyente e dos tanques de cultivo.

Data	AE	T1	T2	T3
14/dez	--	5,4	3,3	2,8
21/dez	--	3,5	6,4	0,8
28/dez	1,6	1,9	--	0,9
4/jan	3,1	1,0	1,2	0,6
11/jan	2,5	0,9	0,9	0,6
18/jan	3,9	5,2	1,7	0,9
26/jan	5,9	2,3	2,3	1,1
15/fev	3,5	1,8	1,9	1,9
29/fev	2,3	1,8	2,1	2,2
11/mar	2,6	2,2	2,4	2,0
25/mar	4,6	1,7	2,2	2,2
31/mar	5,9	6,8	4,2	2,6
\bar{X}	3,6	2,9	2,6	1,6
S^2	1,4	1,8	1,5	0,8

Legenda: \bar{X} = média aritmética, S^2 = desvio padrão

Pode-se notar (Figura 5.27) que os valores do afluyente aos tanques (amostra da lagoa de polimento final da ETE) está de acordo com o reportado por von Sperling (2006), no qual apresentou média de 3,6 mostrando a boa do tratamento biológico da ETE na remoção de matéria orgânica biodegradável. Os tanques T1 e T2 apresentaram medianas próximas e menor que o afluyente, indicando que há uma remoção adicional de matéria orgânica nos tanques de cultivo, no entanto, nada se pode afirmar da participação do peixe na redução dessa relação. O tanque T3 por ser um tanque com água potável, já era esperado uma relação baixa.

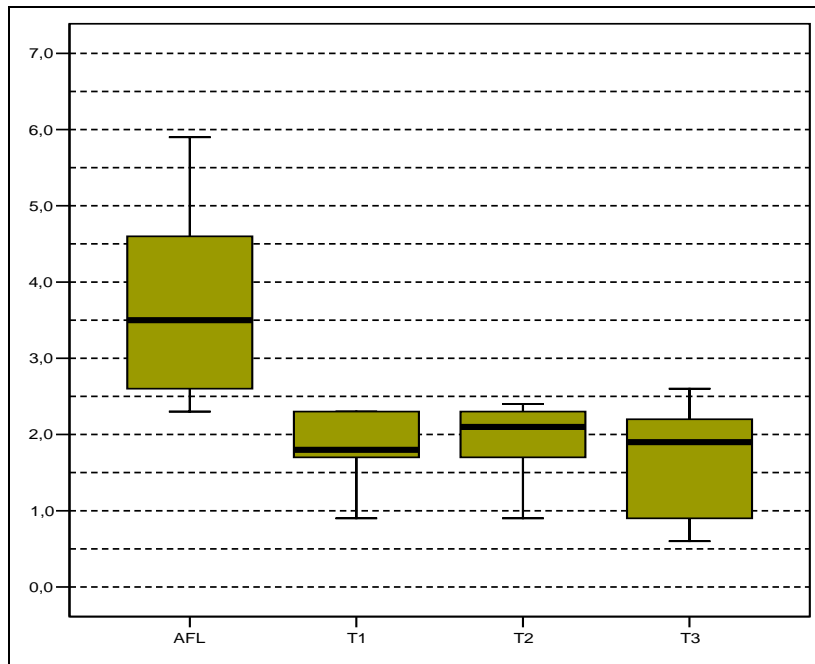


Figura 5.27: *Box-plot* da relação DQO/DBO encontrada em amostra do afluente e no interior dos tanques de cultivo.

5.3.12 Coliformes Totais e *E. Coli*

A concentração de coliformes em tanques abastecidos com esgoto tratado para a criação de peixes é de extrema importância uma vez que acima de 10^5 NMP/100 mL podem contaminar a carne do peixe, tornando-os impróprios para consumo.

A OMS recomenda o valor padrão de 10^3 NMP/100 mL para coliforme fecal no interior do tanque. Mara e Cairncross (1989) relatam que, em tanques de peixes, pode ocorrer remoção de uma ou mais unidades logarítmicas, dependendo da temperatura e do tempo de detenção hidráulico. Desse modo é permitido que o afluente aos tanques de cultivo possa ter no máximo 10^4 NMP/100 mL.

Von Sperling (2001) relata que a média geométrica fornece uma melhor indicação dos valores de coliformes, pois variam em diversas ordens de magnitude, neste sentido, um único valor extremamente elevado pode aumentar substancialmente a média aritmética, mesmo que todos os outros valores sejam baixos.

Os valores de *E. Coli* e Coliformes Totais obtidos são mostrados na Tabela 5.47 e Figuras 5.28 e 5.29 respectivamente. Optou-se por transformar os dados em logaritmos pelo fato de que quando fosse feita a média, obter-se-ia a média geométrica. O fato de se ter somado 1 em todos os valores foi por ter obtido valores de coliformes zero (0) e não existir logaritmo de zero.

Tabela 5.47: Valores de *E. Coli* e Coliformes Totais (Log) em amostra afluyente e no interior dos tanques (n=14).

Parâmetro	X_M	X_m	G	S^2
LogEC_AFL	2,6	0,0	2,2	2,2
LogEC_T1	2,8	0,0	2,0	2,2
LogEC_T2	2,7	0,9	2,1	2,2
LogEC_T3	0,5	0,0	0,4	0,2
LogCT_AFL	2,8	0,0	2,4	2,4
LogCT_T1	2,9	0,0	2,1	2,4
LogCT_T2	3,7	1,0	2,7	3,1
LogCT_T3	0,6	0,0	0,2	0,3

Legenda: n = tamanho amostral, X_M = valor máximo, X_m = valor mínimo, G= média geométrica, S^2 = desvio padrão.

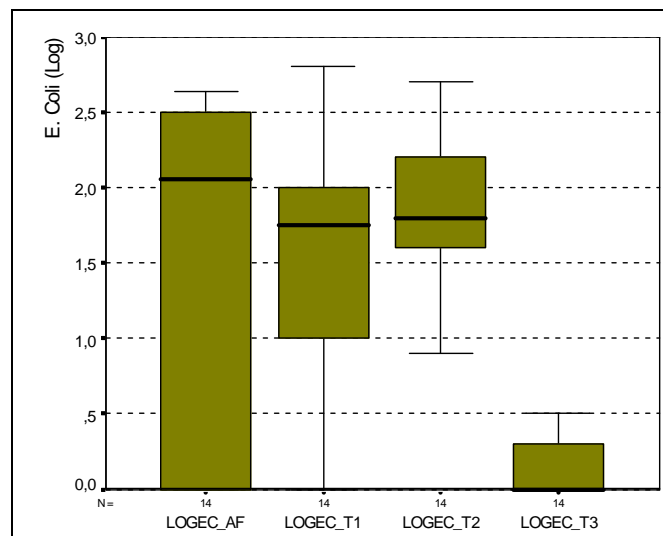


Figura 5.28: Box-plot de *E. Coli* (Log) em amostra do afluyente e no interior dos tanques piscícolas.

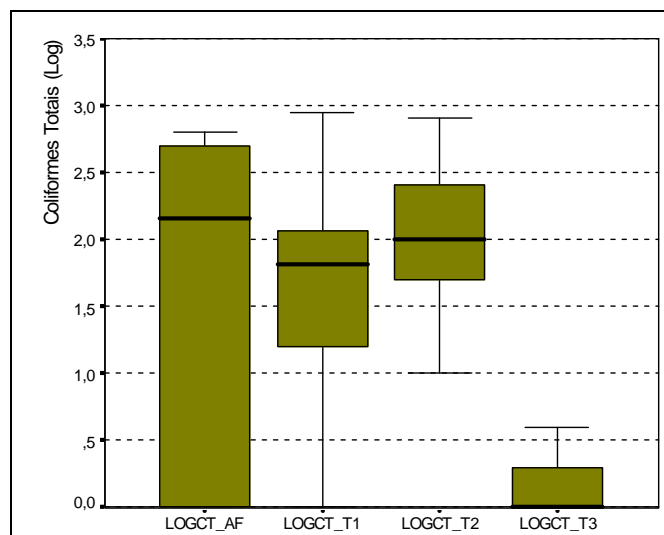


Figura 5.29: Box-plot de Coliformes Totais (Log) em amostra do afluente e no interior dos tanques piscícolas.

No caso de coliformes totais e *E. Coli* houve a necessidade de transformá-los em logaritmo e, após essa transformação, a série de dados se comportou como normal sendo possível aplicar o teste *t* Student, entretanto, como no decorrer da pesquisa se alcançou valores de ausência de coliformes, foi necessário somar +1 no cálculo para se ter o logaritmo, visto que não existe logaritmo de zero (0) na base 10. Os valores de curtose, assimetria são mostrados nas Tabelas 5.48 e o teste *t* de Student é mostrado na Tabela 5.49.

Tabela 5.48: Curtose e assimetria nos valores de Coliformes Totais e Termotolerantes em amostras dos tanques 1 e 2.

Parâmetro	Assimetria	Erro padrão	X	Curtose	Erro padrão	Y
LogCT_T1	-0,65	0,597	-1,09	0,52	1,154	0,45
LogCT_T2	0,82	0,597	1,38	2,02	1,154	1,75
LogEC_T1	-0,61	0,597	-1,03	0,16	1,154	0,14
LogEC_T2	-0,31	0,597	-0,52	-0,11	1,154	-0,10

Legenda: X = Assimetria dividida pelo erro padrão e Y = Curtose dividida pelo Erro Padrão

Tabela 5.49: Resultado do teste *t* de Student para coliformes nos tanques 1 e 2.

Parâmetro	Média da diferença entre as variáveis	Desv. Padrão	Intervalo de confiança para a diferença 95%		t calculado	Grau de Liberdade (GL)	Significância (bicaudal)
			Inf	Sup			-p-
LgCT_T1-LgCT_T2	-0,33	0,85	-0,8	0,156	-1,47	13	0,165
LgEC_T1-LgEC_T2	-0,41	0,88	-0,9	0,093	-1,764	13	0,101

Legenda: p = p-value

Conclui-se pela Tabela 5.49 que T1 e T2 não apresentaram diferença significativa para um nível de significância de 5%, para Coliformes Totais e *E.Coli*, levando a aceitar a hipótese nula, confirmando o reportado por Felizatto (2000).

5.4 PARÂMETROS DE PISCICULTURA

Moscoso *et al.* (1992), Moscoso (1998), Kubitza (2000) e Felizatto (2000) relatam que, geralmente, os parâmetros utilizados para verificar a produção de pescado utilizando efluente de lagoa de estabilização em série e na piscicultura convencional são: (a) índice de sobrevivência ou mortandade, (b) qualidade sanitária, (c) crescimento longitudinal e mássico e (d) produtividade líquida.

No presente trabalho, foi adotada avaliação piscícola conforme abordado por Felizatto (2000). No entanto, não foi realizada biometria ao longo dos meses de cultivo, somente no final para evitar o estresse dos peixes e possivelmente índices maiores de mortes.

5.4.1 Biometria Final

Como não foi realizado monitoramento ao longo do experimento não foi possível acompanhar a evolução biométrica mês a mês. Porém, ao esvaziar T2 (Figura 5.30) para verificar a sobrevivência e coletar os exemplares que seriam encaminhados para análise microbiológica achou-se interessante realizar a pesagem e medição dos peixes que sobreviveram para se ter uma idéia de quanto eles se desenvolveram no período da pesquisa. Essa escolha de amostragem foi aleatória (não havendo favorecimento de exemplares maiores ou mais bonitos).

Ao final do experimento foram pesados e medidos 66 peixes, pouco mais de 1/3 do total. O peso e tamanho médio obtido foi de 123,2 g e 19,2 cm concomitantemente (Apêndice D). Dos valores obtidos de biometria final, pode-se notar que o tamanho médio alcançado nessa pesquisa foi semelhante ao encontrado por Felizatto (2000), porém, o peso adquirido foi ligeiramente superior (123,2 g) contra 107g obtido por Felizatto (2000). Essa superioridade não era esperada uma vez que foi trabalhada com espécie não revertida sexualmente. Esse fato não comprova o benefício da reversão tão disseminada na literatura.



A

B

Figura 5.30: (A) T2 ainda cheio com esgoto tratado no início da coleta dos peixes e esvaziamento do tanque (B) T2 quase vazio onde foi feito o arraste com rede para retirada dos peixes que estavam no fundo do tanque.

5.4.2 Sobrevivência da Tilápia

Kormanik e Cameron (1981) *apud* Arana (1997) reportam que a amônia (NH_3) é de natureza lipofílica, ou seja, possui afinidade pelas gorduras e, por isso, difunde-se facilmente através das membranas respiratórias. Por outro lado, a amônia ionizada (NH_4^+) tem características lipofóbicas (repele gorduras), penetrando menos rapidamente as membranas dos peixes.

Alta concentração de nitrogênio amoniacal na água de cultivo associada a um alto valor de pH, pode ser determinante para o índice de sobrevivência obtido em pesquisas utilizando efluente de lagoa de estabilização para cultivo de peixes, isso pelo fato do pH afetar diretamente o equilíbrio da reação, onde, em pH menor que 7 a fração de NH_4^+ é predominante e em pH superior a 7 a fração de NH_3 aumenta atingindo concentrações tóxicas para os peixes.

Moscoso *et al.* (1992) relatam que a sobrevivência de tilápia variou de 33,8 a 100% com a correspondente concentração de nitrogênio amoniacal presente nos tanques de peixes variando ente 0,02 a 1,08 mg/L. Moscoso (1999) indica que, segundo as suas experiências, a dosagem máxima de amônio alimentada aos tanques de peixes não deve ultrapassar a 12 mg/L para não causar mortandade da tilápia do Nilo.

Felizatto (2000) em sua pesquisa observou uma concentração média de amônia total dentro do tanque de cultivo de 8,1 mg/L, entretanto durante 50% das vezes a dosagem desse composto foi superior ao limite recomendado por Buras (1987) que é de 8,0 mg/L para tilápia nilótica. O resultado final de sobrevivência do referido experimento foi de 14%, concluindo que a concentração de nitrogênio amoniacal foi um dos fatores determinantes para o alto índice de mortandade.

Foi possível observar que 85% dos exemplares inicialmente alocados sobreviveram, sendo que as fêmeas estavam todas em período de desova (Figura 5.31) o que comprova que o sistema de alimentação por batelada mantendo no tanque uma taxa média de 4,5 Kg NT/ha.dia foi eficaz para a criação de tilápia do Nilo.



Figura 5.31: Fêmeas em período de reprodução, com ovos incubados na boca, retirada do T2.

Das 33 mortes contabilizadas, só foi possível recolher seis exemplares, pois foram os únicos que ficaram boiando na superfície do tanque (fato que reforça a presença de aves predadoras no local, visto que o tanque que estava com os peixes – T2 – não estava com tela de proteção instalada). Nesses peixes recolhidos observou-se que eles apresentavam brânquias vermelhadas não indicando qualquer sinal de Hidropisia Infecciosa como relatado por Felizatto (2000).

5.4.3 Qualidade sanitária da carne dos peixes

Conforme relatado na metodologia, para análise da qualidade sanitária foram coletados 20 peixes do T2 e 10 peixes do T3. Esse espaço amostral (n) corresponde ao número de unidades

colhidas aleatoriamente de um mesmo lote e analisadas individualmente. Na RDC nº12/2001 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) no item 7 - alimentos de pesca - recomenda-se um tamanho amostral (n) igual a 5. No entanto, optou-se por usar um tamanho amostral maior do que o indicado, para dar maior confiabilidade aos resultados obtidos. Para T3, escolheu-se amostrar em menor quantidade para análise pelo fato de ser um tanque cultivado com água limpa e, além disso, os exemplares estavam bem pequenos, ou seja, não estavam na época de pesca ainda.

Para isso contou-se com a colaboração e apoio do Laboratório Integrado de Microbiologia Veterinária da UnB e do Laboratório Central de Saúde Pública do Distrito Federal (LACEN-DF), na realização de análises de *Salmonella sp.*, *Estafilococos coagulase positiva* e *E. Coli*. Os resultados das análises estão discriminados nas Tabelas 5.50 e 5.51 e foram realizadas com base na Resolução – RDC nº 12 da ANVISA de janeiro de 2001.

Tabela 5.50: Dados biométricos dos peixes cultivados em T2 e T3 para análise microbiológica no Laboratório de Microbiologia Integrada da UnB.

Tipo de amostra	Peso (g)	Tamanho (cm)
T2(*)	135	19
	126	19
	84	17
	124	19
	99	18
	136	20
	111	18
	129	19
	122	19
	103	18
	70	18
	78	17
	81	16
	141	21
107	19	
T3 (**)	31	11
	65	15
	64	14
	88	16
	100	17

(*) Tanque abastecido com esgoto da lagoa de polimento final

(**) Tanque abastecido com água potável e ração tradicional

Tabela 5.51: Dados biométricos dos peixes cultivados em T2 e T3 para análise microbiológica no Laboratório Central de Saúde Pública do Distrito Federal (LACEN-DF).

Tipo de amostra	Peso (g)	Tamanho (cm)
T2 (*)	142	21
	170	22
	115	19
	200	24
	115	19
T3 (**)	66	17
	110	20
	80	19
	60	16
	60	16

(*) Tanque abastecido com esgoto da lagoa de polimento final

(**) Tanque abastecido com água potável e ração tradicional

Inicialmente, estava previsto realizar análise microbiológica na pele e no músculo do pescado separadamente, mas, como dito anteriormente, na época da coleta, os peixes do T3 (tanque com água potável) estavam muito pequenos (pode ter ocorrido furtos de peixes ou predação por aves, muito comum no local), o que impossibilitou a realização das análises dessa forma. A saída encontrada foi a análise da carne junto com a pele (pele + filé).

Os resultados apresentaram ausência de *Salmonella sp* e concentração de *E. Coli* < 3,0 germes/g para todos os peixes analisados em ambos laboratórios. Para as análises de *Estafilococos coagulase positiva* os dados do Laboratório de Microbiologia Integrada da UnB resultaram em < 1,0x10¹/g para os dois tanques de cultivo (T2 e T3) e do LACEN resultou em 0 (zero) para T2 e < 3,0x10¹/g para T3.

No início das análises, houve receio de que as amostras pudessem ser contaminadas pela pele do peixe (parte em contato direto com esgoto), induzindo a resultados errôneos. Porém, pode-se observar que os peixes cultivados na UPS com efluente da lagoa de polimento final da ETE Samambaia, mesmo tendo analisada a pele junto com a carne, apresentaram condições sanitárias satisfatórias para serem consumidos como alimento direto pelo homem.

Felizatto (2000) ressalta que é evidente a indicação da capacidade de remoção de bactérias pelos peixes, principalmente pela alimentação. Então as bactérias podem estar no trato intestinal, o que reforça a tese de que o pescado deve ser manipulado com muito cuidado no momento do preparo e que não se recomenda o consumo desse alimento de forma crua, como é hábito no Oriente.

Outra forma de aplicação muito comum no cultivo de peixes utilizando efluentes de lagoa de estabilização é a depuração, no qual os peixes cultivados em efluentes de lagoas de estabilização são alocados em tanques/ caixas com água potável variando de 1 semana a 20 dias. Felizatto (2000) realizou a depuração dos peixes cultivados e constatou a remoção de Coliformes fecais, em média, de 70% na pele e 100% no músculo dos peixes.

5.5 FITOPLÂNCTON

São vários fatores (temperatura, aeração, nitrogênio, intensidade de luz, etc.) que interferem no desenvolvimento dos cultivos, afetando ou favorecendo o crescimento das diferentes espécies de algas (Rocha e Tavares, 2003). A Tabela 5.52 representa um resumo do inventário de análise de fitoplâncton presente em amostras afluentes (lagoa de polimento) e no interior dos tanques (T1 e T2).

Tabela 5.52: Fitoplâncton inventariado.

Data da coleta	Local de coleta	Ponto Amostral		Gênero/Espécie	Nº total de indivíduos/ 100 mL	
		Entrada	Saída			
25/03/2008	LP	X		<i>Scenedesmus quadricauda</i>	3	
				<i>Planktothrix sp.</i>	59	
				<i>Phacus sp.</i>	1	
	T1	X		<i>Planktothrix sp.</i>	5760	
				<i>Planktothrix sp.</i>	370	
				<i>Phacus sp.</i>	1	
		T2	X		<i>Planktothrix sp.</i>	807
					<i>Phacus sp.</i>	1
					<i>Planktothrix sp.</i>	39
		X	<i>Phacus sp.</i>	1		
		X	<i>Planktothrix sp.</i>	20		
		X	<i>Phacus sp.</i>	1		

Pode-se observar em todo sistema analisado uma elevada quantidade de alga do gênero *Planktothrix sp.*, principalmente na lagoa de polimento, isto é verificado na Tabela 5.52 o que já era esperado, pois a lagoa possui uma área grande, com pequena profundidade o que facilita o estabelecimento dos organismos e contribui para a reprodução. Observou-se então uma aumento expressivo de cerca de 97% na quantidade de alga desse gênero na lagoa de polimento, confirmando que o efluente encaminhado para os tanques de piscicultura possui expressiva quantidade de fitoplâncton.

Analisando as amostras de T1 e T2, notou-se uma diferença numérica de algas em relação aos dados de entrada, sendo observada em T1 uma quantidade bem superior se comparado com T2. Percebe-se que T1 teve um comportamento parecido com o da lagoa de polimento havendo aumento na quantidade de algas da entrada se comparado com o da saída (54%) podendo concluir que o tanque de cultivo oferece condições favoráveis para o criação de peixes. Já T2 não apresentou a mesma quantidade de algas. Vale ressaltar que T2 era o único com a presença de peixes o que pode ser um indicativo que os peixes atuam de forma predadora, se alimentando do fitoplâncton e zooplâncton, única fonte de alimento deles durante o período da pesquisa. A Figura 5.32 apresenta uma foto do *Planktothrix sp* encontrado nas amostras de água analisadas.

De acordo com os resultados obtidos por Godoy (2007) as cianobactérias do gênero *Planktothrix sp.* apontaram uma maior resistência à remoção em lagoas de polimento, fato também observado nessa pesquisa, visto que, foi encontrada em grande quantidade na saída da lagoa. A quantidade observada para essa espécie no ponto de saída da lagoa de polimento está de acordo com o obtido por Godoy (2007) onde alcançou valores dentro da lagoa de maturação da ordem de $6,6 \times 10^3$ n° células/ml de *Planktothrix sp.*.



Figura 5.32: *Planktothrix sp* encontrado em amostras da lagoa de polimento e no interior dos tanques piscícolas: (A) Aumento de 200x e (B) Aumento de 400x.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos durante os meses de desenvolvimento dessa pesquisa na unidade de piscicultura de Samambaia (UPS) permitem concluir que:

A torre de arraste de amônia não alcançou o objetivo esperado no período de 10 dias de monitoramento, atingindo uma remoção média de apenas 19% de amônia total, deixando ainda, o efluente com altos valores de NH_4^+ , o que inviabilizaria o cultivo de tilápia nas condições atuais da ETE Samambaia.

A fase de monitoramento de redução de amônia por volatilização mostrou-se eficaz, permitindo observar que o tanque, por ter uma área superficial grande (100 m^2) removeu cerca de 70% de NH_4^+ no período em que esteve fechada a alimentação (mais ou menos 19 dias), e, apesar de se ter alcançado o valor reportado por Buras (1987) de 8 mg/L de NH_4^+ , foi observada mortalidade total dos peixes colocados no esgoto tratado (T2), levando a acreditar que pode estar havendo uma combinação de fatores para gerar tamanha letalidade.

Com a reformulação da metodologia, o sistema de alimentação por batelada e diluição (tentando manter a taxa de Mara *et al.*, 1993) mostrou-se mais eficaz e com resultados mais favoráveis do que alimentação por fluxo contínuo aplicado em pesquisas anteriores.

Essa forma de acondicionamento do efluente nos tanques de cultivo permitiu observar um índice de sobrevivência na ordem de 85%, bem superior aos obtidos por Felizatto (2000) e Machado (2006). Notou-se também que o cultivo de peixes sem reversão sexual foi bem sucedido, uma vez que, ao final do experimento, ao esvaziar T2 para verificar a taxa de sobrevivência, as fêmeas estavam em período de desova, mostrando que, apesar das condições adversas a que foram submetidas, a reprodução de tilápia do Nilo nessas condições foram favoráveis.

Pelas análises microbiológicas realizadas na carne dos peixes cultivados no esgoto, pode-se observar que, em relação aos parâmetros analisados (*E. Coli*, *Estafilococos coagulase positiva* e *Salmonella sp.*), os peixes apresentaram condições higiênico-sanitárias satisfatórias para

consumo humano, lembrando que apesar do resultado positivo, não se aconselha o consumo de tal alimento cru.

Pelo fato de estar trabalhando com indivíduos não revertidos sexualmente, em T3 (tanque com água potável e ração) ocorreu um descontrole da quantidade de peixes, não se podendo, com isso, comparar a produtividade entre os dois sistemas. Outro fator que chamou a atenção foi que nesse tanque os peixes “adultos” ao final do experimento não foram encontrados, levando a acreditar que pode ter ocorrido furto desses peixes por pessoas não autorizadas, ou mesmo predação de aves fato muito comuns no local.

Pela aplicação dos testes estatísticos, t de Student e Mann-Whitney, conclui-se que para os parâmetros: alcalinidade, clorofila-a, sólidos em suspensão totais, NO_x , NTK, Ortofosfato, DBO, DQO e Coliformes Totais e *E. Coli* deve-se aceitar a hipótese nula, ou seja, para um nível de significância de 5% não há diferença significativa entre as médias de T1 e T2. Já para os parâmetros pH, condutividade, transparência, NH_3^- , NH_4^+ , temperatura e oxigênio dissolvido os testes apontaram, a um nível de confiança de 95%, para a rejeição da hipótese nula. Observou-se que desses parâmetros T2 apresentou média superior, se comparado com T1, para pH, condutividade, NH_3 e oxigênio dissolvido e média inferior para transparência, NH_4^+ e temperatura.

Apesar da média de NH_4^+ e de transparência em T2 ter sido considerada inferiores pelo teste estatístico, em termos operacionais essa diferença, não tem muita importância, visto que os valores foram bem próximos, por exemplo, no caso da transparência o valor obtido para T1 foi de 25 cm e para T2 foi de 23 cm. Vale ressaltar que T1 teve toda sua superfície tomada por lemna, o que explica o fato observado, pois essa planta auxilia na remoção de nutrientes e, conseqüentemente, melhora a transparência da água.

Essa planta impediu a recirculação do oxigênio fazendo com que T1 apresentasse condições de anaerobiose (com valores próximos de zero), não permitindo que os raios penetrassem em toda coluna d'água, inibindo assim o processo de fotossíntese, fato que também contribuiu para o baixo OD e temperatura alta.

Por causa da florescência de algas observada em T1, não se pode concluir se o peixe interferiu de forma positiva melhorando a qualidade do efluente se comparando os dois tanques (T1 e T2). Mas permitiu observar o que Matheus (1984) *apud* Machado (2006) relata, que os peixes: (a) impediram através do efeito “grazing”, o crescimento excessivo do fitoplâncton. Como consequência de tal crescimento, há também a morte em massa desses microrganismos, causando elevada DBO na coluna d’água, (b) os peixes promoveram a circulação e mistura desejável da água, através de sua movimentação e hábitos de agitar o sedimento, (c) evitaram a sedimentação de algas, através da circulação da água, o que as tornaria elementos inertes em termos de produção de oxigênio, pois ficariam fora do alcance da energia luminosa e, (d) alimentaram-se de detritos depositados no sedimento, auxiliando a instalação e manutenção de um ambiente mais estável e homogêneo.

Não foi possível realizar análise do efluente dos tanques cultivados com esgoto tratado para comparação com a piscicultura convencional, pois nem sempre ocorria o vertimento do efluente, visto que a alimentação dos tanques era por batelada e não em fluxo contínuo.

A partir dos resultados obtidos, recomendam-se algumas alterações e ajustes para pesquisas futuras:

1. Sugere-se, para estudos futuros, continuar com a alimentação por batelada, mas tentando começar a pesquisa sem a diluição do esgoto no início, ou seja, iniciar com o tanque todo cheio de esgoto ao invés de água potável.
2. Recomenda-se testar outras taxas de aplicação de nitrogênio total no interior dos tanques de cultivo, possivelmente maiores, evitando assim a alimentação todos os dias, facilitando o monitoramento do sistema.
3. Sugere-se um acompanhamento quinzenal da análise do fitoplâncton para realizar um inventário mais consistente abrangendo época chuvosa e de estiagem.
4. Para evitar a captura de peixes por aves predadoras, aconselha-se a instalação de uma tela de proteção em T2, pois só foram observados 6 peixes “boiando” na superfície do tanque no decorrer da pesquisa, para os outros peixes “mortos” não foram encontrados os cadáveres, confirmando a predação por aves no local.

5. É interessante observar o perfil de oxigênio dissolvido durante o dia e a noite e associar ao perfil de temperatura para poder verificar se está ocorrendo ou não estratificação térmica, fato que, associado aos baixos teores de oxigênio e alto valor de amônia, pode ter contribuído para as mortes de peixes observadas neste trabalho.
6. Realizar ensaios de carcinogenia e toxicidade nos peixes, para verificar a possível existência de cianotoxinas na carne dos peixes cultivados em efluentes de lagoas de estabilização.
7. Realizar análise no estômago dos peixes para comprovar se, de fato, a tilápia se alimentou do *Planktothrix sp.* presente no efluente da lagoa de polimento final, uma vez que essa cianotoxina pode ser cumulativa em peixes e verificar suas possíveis conseqüências para a saúde humana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, A. C. de (2005). “Avaliação das Características dos Dados Primários das Águas Residuárias do Distrito Federal”. Monografia de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, 156p.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária (2001). RDC nº 12 de 02 de janeiro de 2001. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/e-legis/>, acessado em 13/04/2008.
- APHA - AWWA - WPCF (1999). "Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater". American Public Health Association 20^a Edition (CD-Rom), Washington DC.
- Arana, L. V. (1997). “Princípios Químicos da Qualidade da Água em Aqüicultura: uma Revisão para Peixes e Camarões.” Editora da UFSC, Florianópolis, SC, Brasil, 166p.
- Azevedo, A. D. P.; Barbirato Júnior, L.; Silva, N. L. e Elias, V. F. (1993). "Peixamento de Lagoas Facultativas". *17^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária*. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais do Congresso Volume 2 Tomo 1, Natal, RN, Brasil, 534-543.
- Bastos, R. K. X.; Bevilacqua, P. D. (2006). “Normas e Critérios de Qualidade para Reúso da Água”. In: Santos, M. L. F. *Tratamento e Utilização de Esgoto Sanitário*. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2006. 17-61.
- Bastos, R. K. X.; Bevilacqua, P. D.; Nunes, F. L.; Soeiro, G. P.; Silva, C. V.; Freitas, A. S. (2002). “Avaliação do Tratamento de Esgotos Sanitários em Lagoas de Estabilização Tendo em Vista a Utilização do Efluente na Agricultura e Piscicultura”. *28^o Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*. AIDIS - Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Anais do Congresso, Cancun, México, 8p.
- Bastos, R. K. X.; Freitas, A. S.; Salaro, A. L.; Lanna E. A. T.; Bevilacqua, P. D. (2003^b). “Avaliação da Produção de Tilápia do Nilo com Efluente de Lagoa de Estabilização”. *22^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais do Congresso, Joinville, SC, Brasil, 7p.
- Bastos, R. K. X.; Neto, C. O. A.; Filho, B. C e Marques, M. O. (2003^a). “Introdução”. In: Bastos, R. K. X. *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 1-21.

- Bastos, R. K. X.; Pereira, C. M.; Pivelli, R. P.; Lapolli, F. R. e Lanna, E. A. T. (2003^c). “Utilização de Esgotos Sanitários em Piscicultura”. In: Bastos, R. K. X. *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 193-223.
- Beardmore, J. A., Mair, G. C., Lewis, R.I. (2001). “Monosex male production in finfish as exemplified by tilapia: applications, problems and prospects.” *Aquaculture*, 197 (283-301).
- Bevilacqua, P. D.; Bastos, R. K. X. e Lanna, E. A. T. (2006). “Uso de Esgotos Tratados para Produção Animal”. In: Santos, M. L. F. *Tratamento e Utilização de Esgoto Sanitário*. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2006. 275-330.
- Bisqueria, R.; Sarriera, J. C. e Martínez, F. (2004). “Introdução à estatística – enfoque informático com o pacote SPSS”. Artmed editorar S.A. São Paulo – SP, 255p.
- Bocek, A. (1996^a). "Introduction to *Oreochromis niloticus*". International Center for Aquaculture and Aquatic Environments - Auburn University, Alabama, USA. Homepage - <http://www.ag.auburn.edu/fish/international/fryproduction.htm>, acessado em 12 de abril de 2007 às 15:00h.
- Bocek, A. (1996^b). "Introduction to fish culture in ponds." International Center for Aquaculture and Aquatic Environments - Auburn University, Alabama, USA. Homepage - <http://www.ag.auburn.edu/fish/international/intrpond.htm>, acessado em 12 de abril de 2007 às 15:05h.
- Bocek, A. (1996^c). "Introduction to Tilapia culture." International Center for Aquaculture and Aquatic Environments - Auburn University, Alabama, USA. Homepage - <http://www.ag.auburn.edu/fish/international/tilap.htm>, acessado em 12 de abril de 2007 às 15:10h.
- Borges, A. M. (2004). “Efeito da temperatura da água na produção de populações monossexo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) da linhagem chitralada”. Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 65p.
- Boyd, C. E. (1990). “Water Quality in Ponds for Aquaculture.” Alabama Agriculture Experiment Station, 482p.
- Buras, N. (1993). “Microbial safety of produce from wastewater-fed aquaculture”. In: Pullin, R.V.C., Rosenthal, H., MacLean, J.L.(Eds.), *Proceedings of ICLARM Conferences*, vol. 31, 285–295p.

- Buras, N.; Duek, L.; Niv, S.; Hopher, B. e Sandbank, E. (1987). "Microbiological aspects of fish grown in treated wastewater". *Water Research*, 21, (1) 1-10.
- Callegari-Jaques, S. M. (2006). "Bioestatística: princípios e aplicações". Editora: Artmed, Porto Alegre – RS, 255p.
- Campos, C. F. M. (2001). "Viabilidade Sócio-econômica e Ambiental da Piscicultura em Tanque-Rede no Pantanal de Mato Grosso do Sul". Dissertação de Mestrado, Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 87p.
- CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos). (2003). Resolução sobre reúso de água Documento nº 4 - reúso na aquíicultura. Documentos suporte para elaboração da minuta da resolução sobre reúso de água no Brasil. (Cord.) Hespanhol, I. São Paulo, SP, 82p.
- Durborow, R. M; Crosby, D. M e Brunson, M. W. (1997). "Ammonia in fish ponds". *Southern Regional Aquaculture Center*. Homepage - www.govdocs.aquaculture.org/cgi/reprint/2003/725/7250090, acessado em 9 de julho de 2008.
- Edwards, P.; Sinchumpasak, O. A. e Tabucanon, M. (1981). "The Harvest of microalgae from the effluent of a sewage fed rate stabilization pond by *tilapia nilotica*". Part 2: Studies of the fish ponds. *Aquaculture*, 23: 107-147.
- Edwards, Peters (1992). "Reuse of Human Wastes in Aquaculture - A technical review". *Water Sanitation Report. UNDP - World Bank - Water and Sanitation Program. The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank*, Washington, DC, 350 p. Homepage: http://www-wds.worldbank.org/external/default/main?pagePK=64193027&piPK=64187937&theSitePK=523679&menuPK=64187510&searchMenuPK=64187283&theSitePK=523679&entityID=000009265_3961003030757&searchMenuPK=64187283&theSitePK=523679, acesso em 15 de março de 2007, às 16:51h.
- Esteves, F. A. (1998). "Fundamentos de Limnologia". 2 ed, Rio de Janeiro: Interciência, 602p.
- Felizatto M. R.; Campos, A. B.; Borges, C. E. e Neder, K. D. (2008). "Advanced Wastewater Treatment – DAF used to upgrade algae laden effluents from an Integrated Waste Ponds System (Samambaia's WWTP)". SIDISA 2008 - International Symposium on Sanitary and Environmental Engineering, Florence-IT., 24/27 June, 8p.
- Felizatto, M. R.; Starling, F. L. R. M. e Souza, M. A. A. (2000). "Estudos preliminares para a verificação da possibilidade de reúso direto em piscicultura no Distrito Federal". 1º

- Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Anais do Simpósio (Cd-Rom), Brasília-DF, Brasil, 20p.
- Felizatto, M.R. (2000). “Reúso de Água em Piscicultura no Distrito federal: Potencial para Pós-Tratamento de Águas Residuárias Associado à Produção de Pescado”. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação MTARH.DM-029A/00, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 190p.
- Fernandes, G. T. (2005). “Análise Econômica de Projeto Integrado de Tratamento e Reúso de Água – O caso da ETE do Centro Internacional de Neurologia e Reabilitação da Rede Sarah do Aparelho Locomotor (Brasília – DF)”. Monografia de conclusão de curso em Engenharia Ambiental. Universidade Católica de Brasília (UCB), Brasília, DF, 98p.
- Finep – Financiadora de Estudos e Projetos. Homepage - http://www.finep.gov.br/prosab/consumo_agua.html >, acesso em 15 de janeiro de 2007.
- Florencio, L.; Aisse, M. M.; Bastos, R. K. X. e Piveli, R. P. (2006) “Utilização de Esgotos Sanitários – Marcos Conceituais e Regulatórios”. In: Santos, M. L. F. *Tratamento e Utilização de Esgoto Sanitário*. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2006. 1-15.
- Gradwohl, S. T. S. (2006). “Avaliação dos Riscos Ambientais e Ecotoxicológicos do Reúso de Águas Residuárias em Piscicultura”. Dissertação de mestrado em Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 164 p.
- Hortegal Filha, M. S. R.; Mota, S.; Ceballos, B. S. O.; Silva, F. J. A.; Santiago, R. G. e Costa, F. H. F. (1999). “Viabilidade do uso de lagoas de maturação na Piscicultura” 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais do Congresso (CD-Rom), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 3434-3441.
- Kubitza, F. (1999^a). “Nutrição e Alimentação de Tilápias”. *Revista Panorama da Aqüicultura*, 52 (9): 42-48.
- Kubitza, F. (1999^b). “Nutrição e Alimentação de Tilápias”. *Revista Panorama da Aqüicultura*, 53 (9): 41-49.
- Kubitza, F. (2000). "Tilápia - Tecnologia e Planejamento na Produção Comercial". Editora ACQUA & IMAGEM, Jundiaí - SP, 285p.

- Kubitza, F. e Kubitza, L. M. M. (2000). "Tilápias: qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade – Parte 2". *Revista Panorama da Aqüicultura*, 60 (10): 31-53.
- Lapponi, J. C. (2005). "Estatística usando o Excel". Editora: Campus. Rio de Janeiro, RJ. 476p.
- Lin, C. K. e Yang Yi. (2003). "Minimizing environmental impacts of freshwater aquaculture and reuse of pond effluents and mud". *Aquaculture*, 226 (57-68).
- Machado, B. C. (2006). "Avaliação da Qualidade dos Efluentes das Lagoas de Estabilização em Série da Estação de Tratamento de Esgoto de Samambaia – DF para o Cultivo de Tilápia (*Oreochromis niloticus*)". Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-100/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 143p.
- Mancuso, P. C. S. e Santos, H. F. (2003). "Reúso de água". Editores – Barueru – SP.: Manole, 579p.
- Mara, D. D.; Edwards, P.; Clark, D. e Mills, S. W. (1993). "A rational approach to the desing of wastewater-fed fishponds". *Water research*, 27 (12), 1797-1799.
- Mara, D.D. e Cairncross, S. (1989). "Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture". WHO - World Health Organization & UNEP - United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland, 187p.
- Maroco, J. (2007). "Análise Estatística - Com utilização do SPSS". Edições Silabo, Lda. Portugal - Lisboa, 822p.
- Melão, M. G. G.; Rocha, O. e Roche, K. (2005). "Produtividade, biomassa, flutuações populacionais e interações biológicas da comunidade planctônica e suas implicações na transferência de energia da cadeia alimentar de um reservatório raso oligotrófico". In: Roche, K. e Rocha, O. (Org.). *Ecologia trófica dos peixes com ênfase na planctivoria em ambientes lênticos de água doce no Brasil*. São Carlos: RiMa, p 25-80.
- Metcalf & Eddy (1991). "Wastewater Engineering - Treatment, Disposal e Reuse". 3ª Edição. Editora McGraw-Hill Inc, 1334p.
- Moscoso, J.; Egocheaga, L. e Muñoz, A. F. (1992^c). "Reuso en Acuicultura de las Aguas Residuales Tratadas en las Lagunas de Estabilización de San Juan. Sección IV: Factibilidad Técnica, Económica y Social." CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS - Organización Pan-Americana de Saúde, Lima, Peru, 78p.

- Moscoso, J.; León, G.; Merino, E. G. e Muñoz, A. F. (1992^a). "Reuso en Acuicultura de las Aguas Residuales Tratadas en las Lagunas de Estabilización de San Juan. Sección II: Tratamiento de las Aguas Residuales y Aspectos Sanitarios". CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS - Organización Pan-Americana de Saúde, Lima, Peru, 70p.
- Moscoso, J.; Nava, H. e Muñoz, A. F. (1992^b). "Reuso en Acuicultura de las Aguas Residuales Tratadas en las Lagunas de Estabilización de San Juan. Sección III: Acuicultura". CEPIS - Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS - Organización Pan-Americana de Saúde, Lima, Peru, 71p.
- OMS (1989). "Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura - Informe de un Grupo Científico de la OMS". Organización Mundial de La Salud - Série de Informes Tecnicos N° 778, Ginebra, Suiza, 90p.
- Pavanelli, G. C.; Eiras, J. C.; Takemoto, R. M. (1998). "Doenças de peixes: profilaxia, diagnóstico e tratamento". Maringá: EDUEM, 264p.
- Peirong, S. (1989). "The biology of major freshwater-cultivated fishes in China". In: *Integrated Fish Farming in China*. NACA Technical Manual 7 - Network for Aquaculture Centres in Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand, 1-32 p.
- Pereira, C. M. e Lapolli, F. R (2003). "Cultivo de Peixes em Efluentes Domésticos Provenientes de Lagoas de Estabilização". *22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais do Congresso, Joinville, SC, Brasil, 7p.
- Pereira, C. M. (2004). "Avaliação do Potencial de Efluente de Lagoas de Estabilização para a Utilização na Piscicultura". Tese de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 187p.
- Pereira, L.P.F. e Mercante, C.T.J. (2005). "A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão". *Revista Científica de Pesca, Aquicultura e Limnologia*, 31(1), 81-88p.
- Philippi Jr, A. (2003). "Reúso de Água: uma tendência que se afirma". In: Mancuso, P. C. S. e Santos, H. F. (Editores). *Reúso de Água*. 1ª Ed. Barueri, SP: Monde, p. XIII-XVII.
- Pinto, M.A.T., Neder, K.D.; Felizatto, M.R. e Ludovice, M.L. (1997). "ETE Samambaia – dos projetos à prática dos novos conceitos no processo de tratamento de esgotos por Lagoas de Estabilização". *19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*.

- ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais do Congresso (CD-Rom), Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 150-155 p.
- Proença, C. E. M de e Bittencourt, P. R. L. (1994). "Manual de Piscicultura Tropical". Brasília: IBAMA, 195p.
- Queiroz, T. R. (2001). "Remoção de sólidos suspensos de efluentes de lagoas de estabilização por meio de processos naturais". Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação MTARH.DM-033A/01, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 263p.
- Reis, J. A. T. dos e Mendonça, A. S. F. (1999). "A Influência dos Valores de pH e Temperatura sobre a Toxicidade da Amônia e sua Importância na Definição de Padrões Ambientais para Corpos D'água". *20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais do Congresso (CD-Rom), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2430-2438.
- Roche, K. e Rocha, O. (2005). "Aspectos da predação por peixes em lagos e represas, com enfoque na planctivoria". In: Roche, K. e Rocha, O. (Org.). *Ecologia trófica dos peixes com ênfase na planctivoria em ambientes lênticos de água doce no Brasil*. São Carlos: RiMa, p. 1-24.
- Silva Júnior, J. A. da. (2003). "Metodologia para a utilização de dados topográficos em projetos geométricos automatizados de vias". Dissertação de mestrado do Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, RJ. 144p.
- Silva, V. K.; Ferreira, M. W.; Logato, P. V. R. (2001). *Qualidade da Água na Piscicultura*. Boletim de Extensão da UFLA, Lavras, MG, n 94. Disponível em: <<http://www.editora.ufla.br>>. Acesso em: 27 de março de 2007.
- Sipaúba-Tavares, L. H. S. (1994). *Limnologia aplicada à aquicultura*. Jaboticabal: FUNEP, 70p.
- Sipaúba-Tavares, L. H. S. e Rocha, O. (2001). "Produção de plâncton (fitoplâncton e zooplâncton) para alimentação de organismos aquáticos". São Carlos, RiMa, 106p.
- Souza, A. V. (2002). "Avaliação da Toxicidade de Efluentes de Lagoa de Estabilização tendo em vista o Reúso de Água na Piscicultura". Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação MTARH.DM-047/02, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 170p.
- Souza, A. V. e Souza, M. A. A. (2003). "Avaliação da Toxicidade de Lagoa de Estabilização com Aplicação de Reúso de Água em Piscicultura". *22º Congresso Brasileiro de*

- Engenharia Sanitária e Ambiental*. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais do Congresso, Joinville, SC, Brasil, 17p.
- Souza, M. A. A. de. (2007.) Comunicação pessoal.
- SPSS® (1996). “SPSS® Base 7.0 for Windows™ – Applications Guide”. SPSS inc., Chicago, IL., USA, 214p.
- Teixeira Filho, A. R. (1991). “Piscicultura ao Alcance de Todos”. Nobel. 2º edição, São Paulo, SP, Brasil, 212p.
- Tessele, F.; Monteggia, L.O.; Neder, K.D.; Castro Júnior, J.M. e Da Rosa, J.J. (2005). “Polimento de Efluentes de Lagoas de Estabilização por Flotação por Ar Dissolvido”. *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Campo Grande-MS, 4p.
- Thurston, R. V.; Russo, R. C. e Vinogradov, G. A. (1981). “Ammonia toxicity to fish, effect of pH on the toxicity of the un-ionized ammonia species”. *Environmental Science and Technology*, 15 (6), 837-840p.
- Uehara, M. Y. e Vidal, W. L. (1989). “ Operação e Manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas – Série Manuais”. Companhia de Tecnologia do Saneamento Ambiental (CETESB). Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo – SP, 91p.
- Valenti, W. C.; Poli, C. R. ; Pereira, J. A. e Borghetti, J. R. (2000).”Aqüicultura no Brasil – bases para um desenvolvimento sustentável”. CNPq – Centro Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/ M.C.T. – Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 399p.
- von Sperling, M. (2001). “Coliformes e pH – médias aritméticas, médias geométricas e medianas”. *21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, João Pessoa-PB, 7p.
- von Sperling, M. (2002). "Lagoas de Estabilização". Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 2ª edição, 196p.
- von Sperling, M. (2006). “Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos”. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 3ª edição, 452p.

WHO (2006). “Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater”. Vol. 3 – Wastewater and excreta use in aquaculture. World Health Organization. Ginebra, Suíça, 149p.

World Fish Center (2007). Disponível em: <<http://www.fishbase.org/Photos/ThumbnailsSummary.php?ID=2>>, acessado em 16/04/2007 às 10:12.

APÊNDICE A

FASE I

Tabela A1: Valores de amônia total (mg/L) afluyente e nos tanques 1 e 2 (n =21)

Data	AFL	T1	T2
15/out	33,1	27,5	28,0
16/out	34,2	28,6	27,5
17/out	35,3	25,7	26,4
18/out	33,7	21,3	25,5
19/out	33,0	21,9	23,8
20/out	33,0	24,0	25,0
21/out	36,8	22,4	21,7
22/out	38,7	19,3	17,9
23/out	37,0	20,3	16,7
24/out	38,5	19,3	16,5
25/out	33,4	11,5	9,1
26/out	35,6	12,7	9,0
29/out	34,2	15,8	10,3
30/out	39,5	12,9	7,6
31/out	38,3	14,7	9,5
1/Nov	50,3	19,0	13,3
2/Nov	47,0	15,4	11,1
5/Nov	45,3	15,2	11,8
6/Nov	45,2	13,5	7,3
7/Nov	45,6	11,4	7,1
8/Nov	42,9	14,3	7,0

Tabela A2: Amônia livre (NH₃⁻) em mg/L nos tanques 1 e 2 (n_{T1}=19 e n_{T2}=20)

Data	T1	T2
16/out	0,31	0,08
17/out	0,07	0,13
18/out	0,10	0,10
19/out	0,08	0,27
20/out	0,22	0,59
21/out	0,37	0,48
22/out	0,59	0,54
23/out	0,47	0,50
24/out	0,36	0,53
25/out	0,41	0,69
26/out	0,58	0,47
29/out	0,42	0,78
30/out	0,70	0,70
31/out	0,65	0,70
1/nov	0,65	0,89
2/nov	0,79	0,38
5/nov	0,27	0,96
6/nov	0,94	0,82
7/nov	0,74	0,42
8/nov	--	0,62

-- Análise não realizada

Tabela A3: Resultados de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dos tanques de cultivo (n=21)

Data	AFL	T1	T2	T3
15/out	553,5	601,9	585,5	43,2
16/out	549,5	532,2	525,0	45,7
17/out	546,6	533,5	528,5	41,3
18/out	562,4	566,2	542,0	42,8
19/out	684,6	613,3	619,3	44,7
20/out	654,2	572,3	572,0	50,3
21/out	666,4	557,2	549,8	55,4
22/out	630,7	546,8	543,9	58,4
23/out	688,4	598,9	687,8	48,9
24/out	694,6	670,9	584,4	52,7
25/out	754,3	674,9	686,0	61,7
26/out	770,0	613,6	579,9	55,3
29/out	702,6	589,3	555,8	59,3
30/out	670,3	545,7	547,7	58,1
31/out	534,5	438,4	430,3	--
1/nov	641,9	485,3	537,4	--
2/nov	671,6	503,2	502,7	--
5/nov	479,3	373,4	358,4	59,7
6/nov	567,4	498,5	379,5	53,2
7/nov	546,8	435,7	368,0	50,2
8/nov	624,3	443,1	459,8	42,2

-- Análise não realizada

Tabela A4: Valores de transparência (cm) nos tanques de piscicultura (n=21)

Data	T1	T2	T3
15/out	9	10	44
16/nov	10	10	46
17/out	11	10	48
18/out	10	15	48
19/out	9	9	53
20/out	10	10	53
21/out	10	10	53
22/out	7	7	45
23/out	10	14	47
24/out	11	11	45
25/out	9	9	43
26/out	6	6	40
29/out	7	7	41
30/out	8	7	45
31/out	5	5	--
1/nov	6	5	--
2/nov	6	6	--
5/nov	8	8	70
6/nov	8	8	70
7/nov	7	8	68
8/nov	8	9	65

-- medida não realizada, trocando água do T3

Tabela A5: Resultado de pH dos tanques de piscicultura (n = 22)

Data	AFL	T1	T2	T3
15/out	8,6	9,0	9,2	10,0
16/out	7,7	8,2	8,3	9,8
17/out	8,1	8,4	8,5	9,7
18/out	7,9	8,3	8,4	9,8
19/out	8,7	8,8	8,9	9,7
20/out	8,7	9,1	9,5	10,3
21/out	8,8	9,5	9,3	10,4
22/out	8,5	9,3	9,4	10,1
23/out	8,4	9,1	9,3	9,9
24/out	8,4	9,2	9,4	10,2
25/out	8,5	9,5	9,7	10,2
26/out	9,6	9,2	9,3	10,0
29/out	8,7	9,7	9,9	10,4
30/out	8,9	9,6	9,7	10,0
31/out	8,8	9,6	9,7	--
1/nov	8,8	9,9	10,2	--
2/nov	8,0	8,9	9,1	--
5/nov	8,8	10,5	10,7	8,0
6/nov	8,7	9,8	10,0	7,9
7/nov	8,0	9,0	9,2	8,7
8/nov	8,08	9,16	9,54	8,49

-- medida não realizada, troca de água no T3

Tabela A6: Valores médios diários de oxigênio dissolvido (mg/L⁻¹) e Temperatura (°C) para os T1, T2 e T3 (n = 19)

Data	OD T1	T (°C)	OD T2	T (°C)	OD T3	T (°C)
16/out	2,5	22,0	2,8	22,1	6,4	23,9
17/out	3,0	22,2	2,9	22,0	8,7	23,9
18/out	2,9	22,1	3,5	22,1	9,3	25,1
19/out	2,4	22,2	2,7	22,5	11,6	26,4
20/out	3,0	21,8	3,0	21,8	12,0	24,3
21/out	3,4	22,1	3,4	22,1	14,2	25,0
22/out	3,4	22,0	4,1	23,4	14,6	25,4
23/out	3,7	21,4	3,5	21,5	11,4	24,4
24/out	2,6	21,4	2,8	21,5	9,1	22,9
25/out	3,2	21,3	3,3	21,5	12,9	23,1
26/out	5,2	21,2	5,0	21,4	11,7	23,1
29/out	3,6	22,1	3,4	22,1	11,9	23,2
30/out	6,2	22,2	5,8	22,0	8,6	25,1
1/nov	3,6	22,4	3,0	22,9	--	--
2/nov	4,8	22,4	5,0	22,7	--	--
5/nov	2,2	22,1	2,1	22,1	3,4	21,4
6/nov	5,2	22,1	5,0	22,1	5,6	21,3
7/nov	3,6	22,0	3,4	22,0	5,2	23,6
8/nov	4,5	22,0	4,5	22,1	9,7	24,9

-- Análise não realizada.

APÊNDICE B

Tabela B1: Controle e operação da vazão nos tanques 1 e 2

Data	H (cm)	Q (calcul)	Q (m3/d)	T (h/dia)	Q (m3/d/tanque)	NTK (mg/l)	NOx (mg/l)	NT (mg/l)	CARGA (kg/d)	TAN (kg/d/ha)
06/dez	0,40	0,090	7,79	8	487,1	20,34	0,18	21	0,16	4,7
07/dez	0,40	0,090	7,79	8	487,1	19,53	0,18	20	0,15	4,5
08/dez	0,40	0,090	7,79	4	974,3	19,53	0,18	20	0,15	4,5
10/dez	0,40	0,090	7,79	8	487,1	20,38	0,18	21	0,16	4,7
11/dez	0,40	0,090	7,79	8	487,1	18,04	0,18	18	0,14	4,2
12/dez	0,30	0,057	4,90	8	306,6	28,91	0,18	29	0,14	4,2
13/dez	0,40	0,090	7,79	8	487,1	20,71	0,09	21	0,16	4,7
14/dez	0,40	0,090	7,79	8	487,1	20,71	0,09	21	0,16	4,7
15/dez	0,40	0,090	7,79	4	974,3	20,71	0,09	21	0,16	4,7
17/dez	0,40	0,090	7,79	6	649,5	20,71	0,09	21	0,16	4,7
18/dez	0,40	0,091	7,89	6	657,4	17,27	0,09	17	0,14	4,0
19/dez	0,30	0,057	4,90	6	408,7	29,26	0,24	30	0,14	4,2
20/dez	0,40	0,090	7,79	6	649,5	21,94	0,24	22	0,17	5,1
21/dez	0,40	0,090	7,79	6	649,5	21,94	0,24	22	0,17	5,1
22/dez	0,40	0,090	7,79	4	974,3	21,94	0,24	22	0,17	5,1
24/dez	0,40	0,090	7,79	4	974,3	20,52	0,24	21	0,16	4,7
25/dez	0,40	0,090	7,79	4	974,3	20,52	0,24	21	0,16	4,7
26/dez	0,40	0,090	7,79	6	649,5	14,83	0,44	15	0,12	3,5
27/dez	0,40	0,090	7,79	4	974,3	14,83	0,44	15	0,12	3,5
28/dez	0,40	0,090	7,79	6	649,5	15,46	0,44	16	0,12	3,6
29/dez	0,40	0,090	7,79	4	974,3	15,46	0,44	16	0,12	3,6
31/dez	0,30	0,057	4,90	6	408,7	24,38	0,44	25	0,12	3,6
02/jan	0,40	0,090	7,79	6	649,5	22,35	0,44	23	0,18	5,2
03/jan	0,40	0,090	7,79	6	649,5	22,35	0,36	23	0,18	5,2
04/jan	0,40	0,090	7,79	6	649,5	22,55	0,36	23	0,18	5,2
05/jan	0,40	0,090	7,79	4	974,3	22,55	0,36	23	0,18	5,2
07/jan	0,40	0,090	7,79	6	649,5	21,74	0,36	22	0,17	5,0
08/jan	0,40	0,090	7,79	6	649,5	21,74	0,34	22	0,17	5,0
09/jan	0,40	0,090	7,79	6	649,5	23,00	0,34	23	0,18	5,3
10/jan	0,40	0,090	7,79	6	649,5	23,00	0,34	23	0,18	5,3
11/jan	0,40	0,090	7,79	6	649,5	21,59	0,34	22	0,17	5,0

Tabela B1 (cont): Controle e operação da vazão nos tanques 1 e 2

Data	H (cm)	Q (calcul)	Q (m3/d)	T (h/dia)	Q (m3/d/tanque)	NTK (mg/l)	NOx (mg/l)	NT (mg/l)	CARGA (kg/d)	TAN (kg/d/ha)
12/jan	0,40	0,090	7,79	4	974,3	21,59	0,30	22	0,17	5,0
14/jan	0,40	0,090	7,79	6	649,5	20,56	0,30	21	0,16	4,8
15/jan	0,40	0,090	7,79	6	649,5	20,56	0,30	21	0,16	4,8
16/jan	0,30	0,057	4,90	6	408,7	24,96	0,30	25	0,12	3,6
17/jan	0,30	0,057	4,90	6	408,7	29,25	0,27	30	0,14	4,2
18/jan	0,30	0,057	4,90	6	408,7	24,55	0,27	25	0,12	3,6
19/jan	0,30	0,057	4,90	4	613,1	24,55	0,27	25	0,12	3,6
21/jan	0,40	0,090	7,79	6	649,5	22,71	0,27	23	0,18	5,2
22/jan	0,40	0,090	7,79	6	649,5	22,71	0,27	23	0,18	5,2
23/jan	0,30	0,058	5,01	6	417,5	26,73	0,27	27	0,14	4,0
24/jan	0,30	0,058	5,01	6	417,5	26,73	0,27	27	0,14	4,0
25/jan	0,30	0,057	4,90	6	408,7	25,89	0,27	26	0,13	3,8
26/jan	0,30	0,057	4,90	4	613,1	25,89	0,27	26	0,13	3,8
28/jan	0,30	0,057	4,96	6	413,1	27,45	0,27	28	0,14	4,0
29/jan	0,30	0,057	4,96	6	413,1	27,45	0,27	28	0,14	4,0
30/jan	0,30	0,057	4,96	6	413,1	27,45	0,08	28	0,14	4,0
31/jan	0,40	0,090	7,79	6	649,5	25,07	0,08	25	0,20	5,7
01/fev	0,30	0,057	4,90	4	613,1	26,73	0,08	27	0,13	3,8
02/fev	0,30	0,057	4,90	4	613,1	26,73	0,08	27	0,13	3,8
04/fev	0,30	0,057	4,90	4	613,1	26,73	0,08	27	0,13	3,8
06/fev	0,30	0,057	4,90	4	613,1	26,73	0,08	27	0,13	3,8
07/fev	0,30	0,057	4,90	4	613,1	26,73	0,08	27	0,13	3,8
08/fev	0,30	0,057	4,90	6	408,7	26,73	0,81	28	0,14	3,9
09/fev	0,30	0,057	4,90	4	613,1	26,73	0,81	28	0,14	3,9
11/fev	0,30	0,057	4,90	6	408,7	25,98	0,81	27	0,13	3,8
12/fev	0,40	0,090	7,79	6	649,5	21,28	0,81	22	0,17	5,0
13/fev	0,40	0,090	7,79	6	649,5	21,28	0,05	21	0,17	4,9
14/fev	0,40	0,090	7,79	6	649,5	23,30	0,05	23	0,18	5,3
15/fev	0,40	0,090	7,79	6	649,5	20,38	0,05	20	0,16	4,7
16/fev	0,40	0,090	7,79	4	974,3	18,92	0,05	19	0,15	4,3
18/fev	0,30	0,057	4,90	6	408,7	25,70	0,05	26	0,13	3,7

Tabela B1 (cont): Controle e operação da vazão nos tanques 1 e 2

Data	H (cm)	Q (calcul)	Q (m3/d)	T (h/dia)	Q (m3/d/tanque)	NTK (mg/l)	NOx (mg/l)	NT (mg/l)	CARGA (kg/d)	TAN (kg/d/ha)
19/fev	0,40	0,090	7,79	6	649,5	20,92	0,53	21	0,17	4,9
20/fev	0,40	0,090	7,79	6	649,5	20,92	0,13	21	0,16	4,8
21/fev	0,40	0,090	7,79	6	649,5	17,84	0,13	18	0,14	4,1
22/fev	0,40	0,089	7,67	6	639,1	17,84	0,13	18	0,14	4,0
23/fev	0,40	0,090	7,79	4	974,3	20,07	0,13	20	0,16	4,6
25/fev	0,40	0,090	7,79	6	649,5	20,07	0,13	20	0,16	4,6
26/fev	0,40	0,090	7,79	6	649,5	22,30	0,13	22	0,17	5,1
27/fev	0,40	0,090	7,79	6	649,5	22,30	0,13	22	0,17	5,1
28/fev	0,40	0,090	7,79	6	649,5	22,30	0,13	22	0,17	5,1
29/fev	0,40	0,090	7,79	6	649,5	21,18	0,13	21	0,17	4,9
01/mar	0,40	0,090	7,79	4	974,3	21,18	0,13	21	0,17	4,9
03/mar	0,40	0,090	7,79	6	649,5	23,42	0,13	24	0,18	5,4
04/mar	0,40	0,090	7,79	6	649,5	23,42	0,13	24	0,18	5,4
05/mar	0,40	0,090	7,79	6	649,5	18,67	0,13	19	0,15	4,3
06/mar	0,40	0,090	7,79	6	649,5	20,63	0,13	21	0,16	4,7
07/mar	0,40	0,090	7,79	6	649,5	20,63	0,13	21	0,16	4,7
08/mar	0,40	0,090	7,79	4	974,3	18,96	0,13	19	0,15	4,4
10/mar	0,40	0,090	7,79	6	649,5	19,82	0,13	20	0,16	4,5
11/mar	0,40	0,090	7,79	6	649,5	19,82	0,13	20	0,16	4,5
12/mar	0,40	0,090	7,79	6	649,5	20,07	0,13	20	0,16	4,6
13/mar	0,40	0,090	7,79	6	649,5	20,07	0,13	20	0,16	4,6
19/mar	0,30	0,057	4,90	6	408,7	27,38	0,32	28	0,14	4,0
20/mar	0,30	0,057	4,90	6	408,7	24,45	0,32	25	0,12	3,6
21/mar	0,30	0,057	4,90	6	408,7	24,45	0,32	25	0,12	3,6
22/mar	0,30	0,057	4,90	4	613,1	31,14	0,32	31	0,15	4,5
24/mar	0,30	0,057	4,90	6	408,7	38,08	0,32	38	0,19	5,5
25/mar	0,30	0,057	4,90	6	408,7	27,14	0,32	27	0,13	3,9
26/mar	0,40	0,090	7,79	6	649,5	24,36	0,41	25	0,19	5,6
27/mar	0,40	0,090	7,79	6	649,5	16,24	0,41	17	0,13	3,8
28/mar	0,40	0,090	7,79	6	649,5	16,24	0,41	17	0,13	3,8

Tabela B1 (cont): Controle e operação da vazão nos tanques 1 e 2

Data	H (cm)	Q (calcul)	Q (m3/d)	T (h/dia)	Q (m3/d/tanque)	NTK (mg/l)	NOx (mg/l)	NT (mg/l)	CARGA (kg/d)	TAN (kg/d/ha)
29/mar	0,40	0,090	7,79	4	974,3	20,75	0,41	21	0,16	4,8
31/mar	0,40	0,090	7,79	6	649,5	23,24	0,41	24	0,18	5,4
01/abr	0,40	0,090	7,79	6	649,5	20,08	0,41	20	0,16	4,7
02/abr	0,40	0,090	7,79	6	649,5	19,32	0,41	20	0,15	4,5
03/abr	0,40	0,090	7,79	6	649,5	19,32	0,41	20	0,15	4,5
04/abr	0,40	0,090	7,79	6	649,5	20,16	0,41	21	0,16	4,7
05/abr	0,40	0,090	7,79	4	974,3	20,16	0,41	21	0,16	4,7
07/abr	0,30	0,057	4,90	4	613,1	23,80	0,41	24	0,12	3,5
Média	0,4	0,1	6,9	5,6	636,0	22,5	0,3	22,7	0,2	4,5
Máx	0,4	0,1	7,9	8,0	974,3	38,1	0,8	38,4	0,2	5,7
Mín	0,3	0,1	4,9	4,0	306,6	14,8	0,1	15,3	0,1	3,5
σ	0,05	0,02	1,3	1,1	172,3	3,8	0,2	3,8	0,0	0,6

APÊNDICE C

Fase II

Tabela C1: Valores de alcalinidade (mg/L) monitorados afluente e no interior dos tanques piscícolas (n=30)

Data	AFL	T1	T2	T3
2/jan	101,6	42,7	48,6	15,4
4/jan	105,9	47,2	48,9	14,5
7/jan	115,1	47,5	46,4	13,6
9/jan	113,6	48,3	44,8	20,5
11/jan	117,1	46,1	47,7	11,6
23/jan	104,9	53,1	48,1	12,0
24/jan	110,5	50,6	50,0	12,3
25/jan	115,9	49,2	48,8	11,2
10/fev	122,7	44,6	49,4	12,8
14/fev	109,8	43,8	47,8	12,4
15/fev	120,4	45,0	47,4	11,4
16/fev	131,7	45,4	38,8	10,0
18/fev	106,1	42,5	42,1	11,6
19/fev	108,0	38,9	40,7	10,4
21/fev	112,2	35,2	37,6	10,2
23/fev	114,6	47,4	42,0	9,0
25/fev	109,4	42,6	47,4	10,4
29/fev	118,6	35,4	39,2	10,0
3/mar	167,2	54,4	57,6	15,4
5/mar	165,0	67,0	69,6	13,8
6/mar	156,0	62,6	60,0	15,4
8/mar	118,0	35,0	40,6	11,2
10/mar	99,0	38,4	37,4	9,4
12/mar	107,0	37,0	39,7	11,0
15/mar	169,4	54,6	58,6	16,6
19/mar	129,4	61,0	73,4	18,6
24/mar	123,2	62,0	72,8	20,0
27/mar	153,2	62,0	69,2	17,4
2/abr	152,6	69,6	77,0	22,0
5/abr	202,0	87,0	63,0	22,6

Tabela C2: Valores de pH monitorados no interior dos tanques de cultivo (n=79)

Data	AFL	T1	T2	T3
19/nov	8,7	9,0	9,6	9,3
21/nov	8,5	8,9	8,9	8,9
22/nov	8,5	8,7	8,7	9,0
23/nov	8,7	8,3	8,5	9,1
26/nov	8,3	8,8	9,1	9,0
27/nov	8,1	9,1	9,2	8,8
28/nov	8,0	8,9	9,2	8,9
3/dez	8,7	9,3	9,7	8,9
4/dez	9,1	9,4	9,8	9,4
5/dez	8,0	9,4	9,9	9,4
6/dez	8,2	9,4	9,7	8,9
7/dez	8,2	9,0	9,5	9,5
8/dez	8,2	9,8	9,5	8,6
9/dez	--	9,1	9,4	8,7
10/dez	7,7	9,1	9,5	8,6
11/dez	8,2	9,2	9,3	8,9
12/dez	8,4	9,1	9,2	9,2
13/dez	8,4	9,4	9,7	9,1
15/dez	--	9,6	10,0	9,1
17/dez	8,0	9,6	9,7	8,9
18/dez	8,4	9,4	9,7	8,7
19/dez	7,8	9,3	9,3	8,7
20/dez	8,0	9,1	9,3	8,9
21/dez	7,3	8,8	9,2	8,7
22/dez	8,3	9,5	9,7	9,0
23/dez	7,8	9,4	9,5	9,0
24/dez	--	8,8	9,2	8,6
25/dez	--	9,2	9,3	8,7
26/dez	7,4	8,8	9,3	8,7
28/dez	8,5	9,6	9,9	8,9
29/dez	8,1	9,0	9,4	8,5
30/dez	9,3	10,0	9,9	8,9
31/dez	8,3	9,1	9,1	8,4
2/jan	7,8	9,3	9,2	8,6
3/jan	8,1	9,2	9,2	8,4
4/jan	8,2	9,0	9,4	9,5
7/jan	7,8	8,5	9,1	8,0
8/jan	7,8	8,7	9,3	8,5
9/jan	7,6	8,4	9,1	7,6
10/jan	7,6	8,5	9,2	8,4
11/jan	7,7	9,2	9,7	8,5
14/jan	7,9	9,4	9,5	8,4

-- Análise não realizada

Tabela C2 (continuação): Valores de pH nos tanques de cultivo (n=79)

Data	AE	T1	T2	T3
16/jan	7,9	9,1	9,3	7,9
17/jan	7,7	9,0	9,4	8,1
18/jan	7,9	9,0	9,5	8,3
21/jan	7,8	9,1	9,4	8,6
22/jan	7,9	9,2	9,4	8,9
23/jan	7,9	9,2	9,3	8,9
24/jan	8,1	9,6	9,4	9,0
25/jan	7,8	9,3	9,5	8,7
28/jan	7,9	9,4	9,5	8,6
29/jan	7,4	9,7	9,7	8,6
31/jan	8,0	10,0	10,1	8,8
1/fev	7,7	9,5	9,8	8,8
10/fev	8,1	9,0	9,3	9,1
12/fev	7,8	8,8	9,1	8,6
14/fev	7,8	9,3	9,6	8,8
15/fev	8,0	9,4	9,6	9,0
16/fev	7,8	9,1	9,3	8,6
18/fev	7,9	9,5	9,6	9,1
19/fev	7,8	9,6	9,8	9,1
21/fev	7,9	9,5	9,6	8,8
23/fev	8,0	9,8	9,9	9,1
25/fev	8,1	9,9	9,9	8,9
29/fev	7,7	8,9	9,1	8,3
3/mar	7,7	9,2	9,2	8,8
5/mar	8,3	9,3	9,9	9,2
6/mar	8,0	9,8	9,6	8,7
8/mar	7,6	9,3	9,3	8,5
10/mar	7,7	9,2	9,1	8,5
12/mar	8,1	9,4	9,4	9,1
15/mar	7,6	9,4	9,7	9,0
19/mar	8,2	9,3	9,4	8,7
24/mar	7,8	7,5	9,5	9,2
26/mar	8,0	6,9	9,3	8,7
27/mar	8,1	6,9	8,7	8,9
2/abr	7,7	6,7	9,5	9,1
5/abr	7,7	7,1	9,0	8,5
7/abr	7,4	7,9	9,3	8,6

Tabela C3: Valores de condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) no interior dos tanques (n=33)

Data	T1	T2	T3
19/nov	75,2	89,1	55,4
21/nov	73,9	92,6	52,8
22/nov	74,1	93,2	53,8
23/nov	82	96,2	55,3
26/nov	68,5	81,8	43,1
27/nov	68,6	76,6	37,8
28/nov	68,3	80,8	38,3
03/dez	95,5	124,4	46,6
04/dez	95,8	135,35	48,1
06/dez	90,4	127,2	49,7
07/dez	115	154,3	48
08/dez	116,7	185,4	45,9
09/dez	114,9	164,5	46
10/dez	161,5	110,2	44,3
11/dez	87,4	113	33,4
12/dez	99,4	117,4	37,5
13/dez	108,8	136,3	37,1
15/dez	129,7	182,5	42,3
17/dez	123,1	155,7	36,7
18/dez	137,8	152,6	35,1
20/dez	162,3	164,2	34,7
21/dez	166,7	173,6	37,6
22/dez	186,7	184,6	35,8
24/dez	180,2	170,5	39,1
26/dez	177,3	167	38,4
28/dez	215,2	229,7	46,7
29/dez	178,7	180,5	42,7
31/dez	193,7	187,8	44,5
02/jan	188,8	195,4	48,8
03/jan	190,2	199,1	57,9
04/jan	208,8	198	46,9
07/jan	201,9	192,5	48,6
08/jan	209,3	205,3	48,4

Tabela C4: Transparência (cm) nos tanques de cultivo (n = 66)

Data	Transparência (cm)		
	T1	T2	T3
19/nov	90	90	85
21/nov	83	87	80
22/nov	76	85	78
23/nov	87	90	69
26/nov	85	90	67
27/nov	85	85	85
28/nov	85	90	77
03/dez	65	65	70
04/dez	60	60	64
05/dez	57	57	60
06/dez	55	55	60
07/dez	37	28	54
08/dez	40	20	52
09/dez	65	28	68
10/dez	60	27	67
11/dez	59	28	60
12/dez	50	24	57
13/dez	62	23	55
15/dez	34	21	70
17/dez	47	21	70
18/dez	25	20	60
19/dez	16	14	65
20/dez	13	14	65
21/dez	11	12	65
22/dez	9	9	69
24/dez	10	10	58
26/dez	7	10	54
28/dez	7	10	54
29/dez	7	7	56
31/dez	6	8	60
02/jan	6	7	50
03/jan	8	8	53
04/jan	6	8	52
07/jan	7	8	47
08/jan	7	8	47
14/jan	9	9	70
15/jan	8	8	68
16/jan	6	7	67

Tabela C4 (cont.): Transparência (cm) nos tanques de cultivo (n = 66)

Data	Transparência		
	T1	T2	T3
17/jan	10	10	70
18/jan	7	10	73
21/jan	6	8	70
22/jan	7	7	68
23/jan	7	8	60
31/jan	7	10	85
01/fev	7	9	80
10/fev	6	9	71
12/fev	6	8	70
14/fev	6	8	70
15/fev	7	9	70
16/fev	7	9	68
18/fev	5	9	58
19/fev	6	9	65
21/fev	7	9	70
23/fev	8	8	60
25/fev	8	9	65
29/fev	7	9	69
03/mar	6	10	77
06/mar	6	9	75
10/mar	7	11	76
12/mar	6	8	75
15/mar	6	8	72
19/mar	6	8	72
25/mar	6	9	73
27/mar	4	9	73
02/abr	4	9	74

Tabela C5: Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) afluyente e no interior dos tanques de cultivo (n =12)

Data	AFL	T1	T2
29/fev	1296	1542	1568
3/mar	1734	1573	1718
5/mar	1183	1800	1676
8/mar	1249	2318	1280
10/mar	1333	1428	1038
12/mar	948	1956	1167
19/mar	1658	1423	1291
24/mar	1397	1566	1362
26/mar	1460	1539	1032
2/abr	1204	269	1082
5/abr	1434	478	1140
7/abr	1143	692	1175

Tabela C6: Sólidos em Suspensão (mg/L) afluente aos tanques e no interior dos tanques de cultivo (n=17)

Data	AFL	T1	T2	T3
7/dez	74	33	26	15
19/dez	50	36	36	16
26/dez	50	26	24	14
4/jan	54	56	54	15
11/jan	45	54	51	15
16/jan	38	64	56	12
23/jan	50	66	56	18
10/fev	56	74	58	10
15/fev	52	70	47	19
20/fev	55	59	51	18
27/fev	52	48	50	19
8/mar	52	62	54	24
12/mar	68	68	58	13
24/mar	60	58	46	12
27/mar	52	20	46	7
2/abr	52	12	30	15
5/abr	54	19	40	25

Tabela C7: Temperatura média diária (°C) nos tanques de cultivo (n=141)

T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
30,1	30,1	30,1	28,8	24,3	25,3	26,5	23,4	24,4
30,4	30,4	30,4	26,9	23,8	24,5	26,3	23,0	24,0
27,1	27,1	27,4	26,9	23,7	24,3	26,9	23,2	24,4
26,9	26,6	27,0	26,1	23,3	24,0	27,3	23,5	25,0
26,0	26,1	26,3	26,4	23,2	23,9	27,3	23,7	25,2
26,4	26,7	26,8	26,9	23,5	24,1	26,9	23,7	25,2
27,0	27,4	28,3	26,7	24,1	24,6	26,2	23,5	24,7
27,0	27,3	27,3	25,9	23,4	23,9	25,5	23,4	24,5
26,6	26,7	26,8	26,1	23,2	23,8	25,0	23,1	24,1
26,8	27,0	27,1	25,4	23,0	23,7	24,9	23,3	24,2
26,6	26,7	26,9	25,1	22,6	23,0	24,7	22,7	23,4
26,5	26,5	26,7	25,6	22,7	23,2	25,9	23,2	24,3
26,0	26,1	26,2	26,1	22,9	23,4	27,2	24,4	25,6
26,5	26,4	26,6	27,2	23,5	24,0	26,8	24,5	25,4
26,3	26,3	26,4	27,6	23,7	24,3	26,6	24,1	25,4
26,0	25,8	26,0	27,4	23,7	24,3	26,6	23,7	25,0
25,2	25,2	25,2	27,1	24,1	24,5	26,4	23,6	25,2
26,2	26,3	26,2	26,5	24,0	24,5	25,6	23,0	24,2
27,4	26,9	26,7	26,1	23,5	23,9	25,8	23,0	24,4
27,7	27,3	26,9	26,1	23,4	23,8	26,1	23,1	24,5
27,3	26,9	26,3	25,6	23,3	23,8	26,8	23,2	24,8
26,6	26,2	25,7	24,9	23,0	23,4	27,5	23,4	25,5
25,3	24,8	24,7	24,7	22,6	23,0	27,0	23,3	25,1
24,7	24,1	23,4	24,7	22,7	23,2	27,2	23,1	25,1
27,0	26,2	24,6	24,2	22,4	22,8	27,4	23,0	25,2
27,1	26,4	25,3	24,5	22,7	23,2	27,7	22,6	24,9
26,6	25,8	24,9	25,4	23,0	23,4	26,4	22,5	24,9
26,8	25,9	25,1	26,5	23,3	23,8	25,8	22,3	24,9
27,3	26,2	25,3	26,0	23,3	23,8	26,3	22,3	24,9
27,6	26,5	25,9	26,1	23,1	23,7	26,5	22,1	24,8
26,7	25,7	25,6	26,5	23,4	24,3	23,2	22,1	24,9
25,5	24,4	24,4	26,1	23,2	24,0	22,6	22,0	24,1
25,2	24,3	24,4	25,5	23,0	23,9	23,5	21,8	23,6
24,9	23,6	23,6	25,2	22,9	23,4	23,7	21,9	24,3
25,0	23,4	23,5	25,7	22,7	23,2	24,2	21,4	23,4
25,2	23,4	23,6	26,9	23,1	23,5	25,6	21,5	24,4
25,9	23,4	23,6	27,3	23,6	24,0	26,0	21,6	24,9
26,1	23,2	23,4	27,1	23,1	23,5	25,5	21,5	25,1
26,1	22,8	23,3	27,8	23,2	23,7	25,4	21,2	24,7
26,4	22,6	23,1	27,9	23,3	23,9	24,3	21,1	24,7
27,0	22,9	23,6	27,2	23,3	24,1	23,5	21,1	24,2
27,3	23,2	24,0	26,2	22,6	23,2	22,6	21,7	24,0
27,8	23,4	24,1	26,7	22,8	23,7	22,6	22,1	23,6
28,0	23,1	23,8	25,9	22,9	23,9	22,4	22,5	23,8
28,1	23,3	24,1	25,1	22,3	23,0	23,3	22,3	23,5
27,5	23,6	24,1	26,2	22,6	23,6	--	24,8	26,3
28,3	23,8	24,2	26,3	22,9	24,0	--	25,9	25,9
28,9	23,9	24,4	26,4	23,0	24,1	-- Análise não realizada		

Tabela C8: Oxigênio Dissolvido (mg/L) nos tanques de piscicultura (n=29)

Data	T1	T2	T3
19/dez	6,6	5,9	5,9
20/dez	5,8	4,5	6,0
23/dez	5,4	3,5	5,4
26/dez	2,3	3,9	5,6
28/dez	2,3	6,7	5,9
30/dez	2,3	5,5	4,1
31/dez	5,1	5,4	5,7
2/jan	5,8	6,0	4,6
4/jan	5,2	5,0	6,5
7/jan	4,8	5,8	5,4
9/jan	5,2	5,0	7,4
11/jan	4,5	5,0	7,3
14/jan	2,4	4,5	7,8
16/jan	3,0	2,8	7,5
17/jan	3,2	2,9	6,5
18/jan	3,6	2,7	6,4
3/mar	2,5	3,4	5,4
5/mar	3,0	4,1	5,0
6/mar	3,4	3,5	7,8
8/mar	3,6	2,7	6,9
12/mar	2,2	3,5	8,4
16/mar	3,4	3,4	8,2
19/mar	1,5	5,8	8,7
24/mar	1,0	3,0	9,7
26/mar	0,98	2,1	7,1
27/mar	0,95	3,4	8,3
2/abr	0,78	4,3	8,5
5/abr	0,84	3,7	9,1
7/abr	0,93	3,2	8,5

Tabela C9: Valores de amônia livre (NH₃) (mg/L) no interior dos tanques de cultivo (n=79)

Data	NH3 T1	NH3 T2	NH T3
19/nov	0,52	0,78	0,68
21/nov	0,46	0,46	0,45
22/nov	0,31	0,27	0,43
23/nov	0,14	0,18	0,53
26/nov	0,32	0,50	0,46
27/nov	0,49	0,56	0,35
28/nov	0,39	0,56	0,41
3/dez	0,63	0,80	0,37
4/dez	0,68	0,85	0,65
5/dez	0,68	0,87	0,67
6/dez	0,66	0,80	0,41
7/dez	0,46	0,71	0,70
8/dez	0,83	0,70	0,22
9/dez	0,48	0,68	0,27
10/dez	0,51	0,70	0,25
11/dez	0,53	0,59	0,38
12/dez	0,49	0,53	0,52
13/dez	0,67	0,78	0,50
15/dez	0,75	0,88	0,52
17/dez	0,77	0,79	0,39
18/dez	0,68	0,79	0,28
19/dez	0,61	0,62	0,29
20/dez	0,47	0,57	0,37
21/dez	0,31	0,49	0,24
22/dez	0,72	0,79	0,41
23/dez	0,66	0,69	0,39
24/dez	0,34	0,54	0,22
25/dez	0,56	0,60	0,27
26/dez	0,33	0,58	0,27
28/dez	0,75	0,87	0,39
29/dez	0,42	0,65	0,18
30/dez	0,89	0,83	0,37
31/dez	0,48	0,47	0,15
2/jan	0,60	0,51	0,19
3/jan	0,55	0,48	0,15
4/jan	0,42	0,61	0,66
7/jan	0,19	0,46	0,06
8/jan	0,26	0,54	0,18
9/jan	0,16	0,42	0,02
10/jan	0,21	0,49	0,14
11/jan	0,57	0,76	0,18

Tabela C9 (cont): Valores de amônia livre (NH₃) (mg/L) no interior dos tanques de cultivo (n=79)

Data	NH3 T1	NH3 T2	NH T3
14/jan	0,67	0,66	0,14
16/jan	0,5	0,53	0,05
17/jan	0,47	0,62	0,07
18/jan	0,47	0,66	0,12
21/jan	0,5	0,61	0,22
22/jan	0,57	0,63	0,34
23/jan	0,57	0,56	0,35
24/jan	0,77	0,6	0,42
25/jan	0,64	0,66	0,25
28/jan	0,67	0,64	0,21
29/jan	0,79	0,76	0,21
31/jan	0,88	0,88	0,3
1/fev	0,73	0,79	0,27
10/fev	0,45	0,59	0,45
12/fev	0,33	0,45	0,2
14/fev	0,6	0,72	0,31
15/fev	0,65	0,73	0,38
16/fev	0,47	0,53	0,21
18/fev	0,72	0,72	0,44
19/fev	0,75	0,78	0,46
21/fev	0,71	0,7	0,29
23/fev	0,83	0,82	0,46
25/fev	0,88	0,83	0,37
29/fev	0,41	0,47	0,13
3/mar	0,56	0,5	0,29
5/mar	0,61	0,83	0,52
6/mar	0,82	0,71	0,25
8/mar	0,59	0,58	0,18
10/mar	0,51	0,44	0,17
12/mar	0,64	0,62	0,43
15/mar	0,63	0,75	0,38
19/mar	0,58	0,6	0,24
24/mar	0,02	0,67	0,51
26/mar	0,01	0,52	0,24
27/mar	0,01	0,25	0,31
2/abr	0	0,66	0,42
5/abr	0,01	0,4	0,17
7/abr	0,05	0,52	0,21

Tabela C10: Valores de amônio (mg/L) afluyente e no interior dos tanques de cultivo
(n_{AFL}=65, n_{tanques}=76)

Data	AFL	T1	T2	T3
19/nov	--	1,74	1,35	1,54
20/nov	--	1,45	1,23	1,32
21/nov	--	1,56	1,52	2,50
22/nov	--	1,65	1,65	1,52
23/nov	--	1,54	1,39	1,54
26/nov	--	2,23	1,42	1,61
27/nov	--	1,89	1,75	1,41
28/nov	--	0,93	0,67	0,72
3/dez	--	1,81	1,99	1,88
4/dez	--	2,00	1,84	1,73
5/dez	--	0,65	0,54	0,56
6/dez	26,20	0,35	0,31	0,21
7/dez	24,05	0,83	0,83	0,43
8/dez	23,50	0,83	1,28	0,42
9/dez	22,80	0,81	1,01	0,38
10/dez	19,94	0,77	0,67	0,41
13/dez	25,67	1,99	1,27	0,57
15/dez	33,71	2,01	1,08	0,55
17/dez	26,50	1,58	0,81	0,46
18/dez	27,30	2,26	1,66	0,51
19/dez	30,40	2,74	2,32	0,40
20/dez	29,13	2,87	2,75	0,47
21/dez	26,52	1,04	0,95	0,41
22/dez	24,20	4,47	2,66	0,33
23/dez	27,15	6,08	4,77	0,47
24/dez	26,50	5,51	4,09	0,39
25/dez	26,70	5,11	4,48	0,57
26/dez	26,50	3,44	3,73	0,30
28/dez	26,28	4,49	3,58	0,44
29/dez	23,50	2,98	2,51	0,24
30/dez	23,57	2,07	2,30	0,29
31/dez	27,38	2,50	3,00	0,44
2/jan	28,80	2,88	4,14	0,56
3/jan	31,53	2,96	4,50	0,42
4/jan	31,55	3,56	3,77	0,49
7/jan	31,93	3,84	3,86	0,57
8/jan	26,92	4,97	4,26	0,41

-- Análise não realizada

C10 (cont.): Valores de amônio (mg/L) afluyente e no interior dos tanques de cultivo

Data	AFL	T1	T2	T3
9/jan	26,21	5,21	4,55	0,46
10/jan	36,80	5,30	4,86	0,47
11/jan	35,82	5,04	4,35	0,49
15/jan	35,02	4,58	3,46	0,42
16/jan	37,15	5,61	4,66	0,52
17/jan	35,45	5,32	4,65	0,44
18/jan	33,50	5,49	4,56	0,43
21/jan	34,30	4,74	3,66	0,44
22/jan	33,53	5,96	4,53	0,41
23/jan	36,17	7,23	6,06	0,47
24/jan	37,40	7,03	5,87	0,45
25/jan	34,60	6,70	5,67	0,43
28/jan	35,20	6,89	5,98	0,46
29/jan	34,80	5,56	5,46	0,49
30/jan	36,70	5,20	5,04	0,45
31/jan	23,00	4,76	3,85	0,05
1/fev	24,75	3,32	2,20	0,00
10/fev	20,00	3,58	2,84	0,00
12/fev	20,00	3,76	2,64	0,00
14/fev	21,0	1,58	1,56	0,68
15/fev	20,75	1,64	1,78	0,0
16/fev	20,5	2,12	2,02	0,0
18/fev	19,25	0,58	0,78	0,0
19/fev	19,5	0,34	0,96	0,0
21/fev	24,0	0,32	0,54	0,0
23/fev	19,25	0,12	0,76	0,0
25/fev	42,75	0,02	0,54	0,0
29/fev	18,25	0,9	1,32	0,0
5/mar	17,4	2,5	1,57	0,0
6/mar	19,0	2,7	2,1	0,0
8/mar	19,0	2,4	2	0,0
12/mar	19,2	2,5	2,3	0,0
16/mar	19,9	2,8	2,5	0,0
19/mar	14,9	2,1	1,95	0,0
24/mar	17,4	2,9	2,4	0,0
27/mar	14,0	1,52	2,27	0,0
2/abr	15,60	2,50	1,64	0,0
5/abr	18,7	2,5	1,13	0,0
7/abr	20,3	3,9	3,54	0,0

Tabela C11: Valores de NO_x (mg/L) encontrado nas amostras (n_{AFL}=5, n_{1,2}=7, n₃=6)

Data	Pontos	NO_x
14/mar	AFL	--
	T1	1,7
	T2	2,8
	T3	--
20/mar	AFL	0,1
	T1	3,7
	T2	4,2
	T3	ND
25/mar	AFL	0,035
	T1	1,910
	T2	3,453
	T3	0,020
28/mar	AFL	--
	T1	1,932
	T2	2,232
	T3	ND
1/abr	AFL	0,940
	T1	0,619
	T2	1,035
	T3	0,004
4/abr	AFL	0,005
	T1	1,335
	T2	1,336
	T3	0,013
8/abr	AFL	1,858
	T1	2,722
	T2	0,817
	T3	0,004

ND – não detectado

-- Análise não realizada

Tabela C12: Valores de NTK (mg/L) afluente filtrado e no interior dos tanques de cultivo (n=53)

Data	AFL_{fil}	T1	T2	T3
6/dez	14,95	2,35	2,24	1,60
7/dez	8,68	2,03	2,03	1,93
10/dez	17,29	1,63	2,64	1,22
11/dez	11,78	2,87	2,97	1,95
12/dez	28,29	3,07	2,56	1,23
13/dez	13,27	3,48	2,76	1,64
15/dez	17,46	3,90	3,20	1,72
18/dez	14,94	4,11	4,27	2,74
19/dez	19,85	4,37	4,17	0,91
20/dez	15,75	7,26	4,27	0,91
23/dez	16,30	6,60	7,26	2,44
26/dez	10,16	5,69	7,01	1,83
28/dez	12,09	10,67	8,13	0,91
30/dez	7,66	5,49	5,89	2,24
31/dez	14,02	5,28	6,91	2,13
2/jan	14,63	10,67	4,77	2,34
4/jan	15,03	5,38	6,09	3,05
7/jan	14,43	4,06	6,40	3,56
9/jan	17,05	7,47	5,65	1,01
11/jan	15,64	6,26	4,54	1,11
14/jan	14,77	6,50	4,30	1,34
16/jan	19,95	7,47	4,40	1,43
17/jan	25,16	5,83	7,16	1,33
18/jan	17,08	6,34	5,73	1,02
21/jan	16,57	5,52	4,60	1,33
23/jan	18,13	7,35	7,15	1,24
25/jan	20,15	6,47	5,78	1,27
28/dez	21,60	7,14	6,89	1,13
31/jan	19,37	8,39	8,29	1,35
1/fev	20,93	9,43	8,50	1,24
10/fev	23,53	11,25	9,92	2,66
12/fev	15,34	8,62	7,95	2,57
14/fev	16,13	10,42	8,29	2,84
15/fev	16,58	9,07	8,51	2,88
16/fev	16,8	9,18	8,85	1,9

Tabela C12 (continuação): Valores de NTK (mg/L) em amostras afluente filtrado e nos tanques de cultivo (n=53)

Data	AFL	AFLfil	T1	T2	T3
18/fev	25,7	18,93	8,85	8,74	2,13
21/fev	17,84	17,51	6,36	6,69	1,69
23/fev	20,07	18,73	7,58	7,91	1,67
25/fev	22,3	17,03	7,39	7,36	2,04
29/fev	21,18	17,95	7,47	7,14	1,34
3/mar	23,42	17,51	7,05	6,8	1,74
5/mar	18,67	11,82	8,25	7,14	0,78
6/mar	20,63	16,95	6,8	7,92	0,78
8/mar	18,96	18,17	7,69	7,69	1,03
12/mar	20,07	16,5	7,14	7,25	1,34
16/mar	19,32	15,9	7,73	7,73	2,58
19/mar	17,36	12,43	7,73	7,17	2,06
24/mar	18,89	9,41	6,27	7,39	1,34
26/mar	15,78	13,13	5,76	6,42	1,07
27/mar	16,24	11,98	4,93	6,38	0,89
2/abr	19,32	14,78	4,14	7,84	1,34
5/abr	20,16	15,9	7,73	8,06	2,8
7/abr	23,8	19,55	6,83	6,94	1,9

Legenda: AFLfil = Afluente Filtrado

Tabela C13: Valores de ortofosfato (mg/L) afluente e no interior dos tanques de cultivo

Data	AFL	T1	T2	T3
14/mar	13,0	1,8	3,5	--
20/mar	15,0	5,0	5,0	0,1
25/mar	15,0	5,0	5,0	--
28/mar	15,0	--	--	0,0
1/abr	12,0	5,0	4,0	0,0
4/abr	15,0	--	5,0	0,0
8/abr	8,0	5,0	4,0	0,0
n	7	5	6	5

-- Análise não realizada

Tabela C14: Valores de DBO (mg/L) em amostra afluyente e nos tanques de cultivo (n=12)

Data	AFL	T1	T2	T3
14/dez	40	15	25	15
21/dez	65	20	20	35
28/dez	65	35	40	30
04/jan	55	65	55	20
11/jan	50	60	50	20
18/jan	45	55	55	25
26/jan	50	60	60	20
15/fev	35	70	60	15
29/fev	45	70	60	15
11/mar	35	55	50	20
25/mar	30	65	55	15
31/mar	25	15	45	17

Tabela C15: Valores de DQO (mg/L) afluente e no interior dos tanques de cultivo

Data	AFL	T1	T2	T3
20/dez	--	81,27	81,68	42,18
23/dez	--	69,75	127,16	28,19
26/dez	101,38	66,13	--	27,45
30/dez	167,76	63,95	67,94	11,63
4/jan	127,43	54,75	46,26	11,02
9/jan	174,87	287,81	94,72	22,54
11/jan	294,08	138,95	138,25	22,88
1/fev	122,10	126,16	113,24	28,69
10/fev	104,15	126,08	123,24	33,36
16/fev	90,62	121,94	121,75	39,21
23/fev	138,17	111,23	118,67	33,29
29/fev	148,16	101,86	188,9	44,45
6/mar	177,79	214,83	177,99	26,25
16/mar	286,19	208,14	159,82	22,96
24/mar	91,32	87,66	241,08	22,39
27/mar	222,82	73,4	182,64	31,91
2/abr	95,99	72,91	146,7	33,57
n	15	17	16	17

-- Análise não realizada

Tabela C16: Valores de *E. Coli* (NMP/100 ml) em amostras afluentes e no interior de T1, T2 e T3 (n=14)

Data	AFL	T1	T2	T3
12/dez	4,25E+02	5,00E+00	6,50E+00	--
19/dez	4,31E+02	1,00E+01	1,20E+01	--
9/jan	1,17E+02	5,10E+01	5,20E+01	0,00E+00
16/jan	9,60E+01	5,80E+01	6,50E+01	1,00E+00
23/jan	0,00E+00	3,90E+01	3,50E+01	2,00E+00
30/jan	0,00E+00	1,85E+02	1,62E+02	0,00E+00
6/fev	0,00E+00	5,78E+02	4,65E+02	0,00E+00
13/fev	1,08E+02	9,80E+01	6,40E+01	0,00E+00
20/fev	3,17E+02	5,70E+01	3,50E+01	0,00E+00
27/fev	2,89E+02	6,50E+01	5,80E+01	0,00E+00
5/mar	6,40E+01	1,47E+02	1,01E+02	0,00E+00
12/mar	0,00E+00	2,40E+01	1,62E+02	1,00E+00
19/mar	1,25E+02	2,00E+00	1,95E+02	1,00E+00
26/mar	3,47E+02	0,00E+00	3,97E+02	0,00E+00

-- Análise não realizada

Tabela C17: Valores de Coliformes Totais (NMP/100 ml) em amostra afluyente e no interior de T1, T2 e T3 (n=14)

Data	AFL	T1	T2	T3
12/dez	6,38E+02	7,50E+00	8,50E+00	--
19/dez	5,60E+02	1,50E+01	1,62E+01	--
9/jan	1,29E+02	5,87E+01	7,02E+01	0,00E+00
16/jan	1,15E+02	6,96E+01	9,75E+01	1,50E+00
23/jan	0,00E+00	5,27E+01	4,94E+01	2,80E+00
30/jan	0,00E+00	2,96E+02	2,03E+02	0,00E+00
6/fev	0,00E+00	8,67E+02	5,12E+03	0,00E+00
13/fev	1,62E+02	1,13E+02	9,60E+01	0,00E+00
20/fev	4,60E+02	7,13E+01	4,73E+01	0,00E+00
27/fev	3,18E+02	9,75E+01	6,67E+01	0,00E+00
5/mar	7,36E+01	1,99E+02	1,52E+02	0,00E+00
12/mar	0,00E+00	3,60E+01	2,43E+02	1,40E+00
19/mar	2,18E+02	2,80E+00	2,93E+02	1,20E+00
26/mar	5,21E+02	0,00E+00	5,36E+02	0,00E+00

-- Análise não realizada

APÊNDICE D

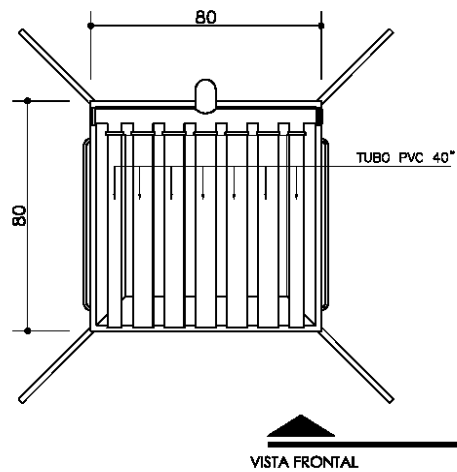
Tabela D1: Biometria final nos peixes cultivados no T2 (n=65)

Quant. Peixe	Tamanho (cm)	Peso (g)
1	19,0	135
2	19,0	126
3	17,0	84
4	19,0	124
5	18,0	99
6	20,0	136
7	18,0	111
8	19,1	129
9	19,0	122
10	18,0	103
11	17,9	70
12	17,0	78
13	16,0	81
14	21,0	141
15	19,0	107
16	18,3	102
17	20,4	145
18	18,2	101
19	20,0	139
20	21,2	168
21	19,6	125
22	20,7	138
23	19,2	130
24	19,5	118
25	18,2	113
26	22,1	184
27	21,7	195
28	17,8	100
29	16,0	58
30	18,3	112
31	20,1	146
32	17,0	84
33	17,2	88
34	21,3	159
35	18,0	103
36	18,2	116
37	19,7	148

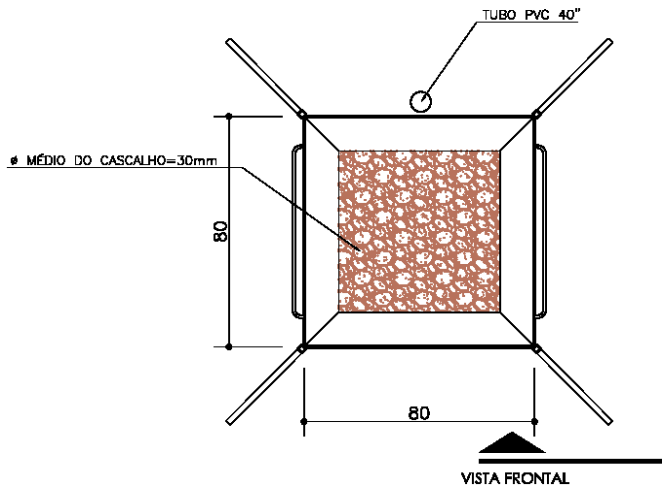
Tabela D1(cont): Biometria final nos peixes cultivados no T2 (n=65)

Quant. Peixe	Tamanho (cm)	Peso (g)
38	19,3	138
39	18,3	119
40	20,5	144
41	16,1	69
42	22,8	195
43	18,3	95
44	20,2	152
45	18,2	98
46	20,0	134
47	22,8	208
48	21,2	185
49	22,2	174
50	14,0	62
51	19,0	115
52	20,0	127
53	21,0	160
54	19,0	106
55	19,4	128
56	19,0	103
57	19,0	107
58	17,3	91
59	19,4	112
60	18,3	92
61	19,4	105
62	22,0	160
63	18,7	98
64	21,7	170
65	20,0	142

APÊNDICE E



VISTA SUPERIOR 01
 ESC.....1:20



VISTA SUPERIOR 02
 ESC.....1:20

* OBS.: UNIDADES EM CENTÍMETRO



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
 PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA
 AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS - PTARH

DATA
 OUT/2008

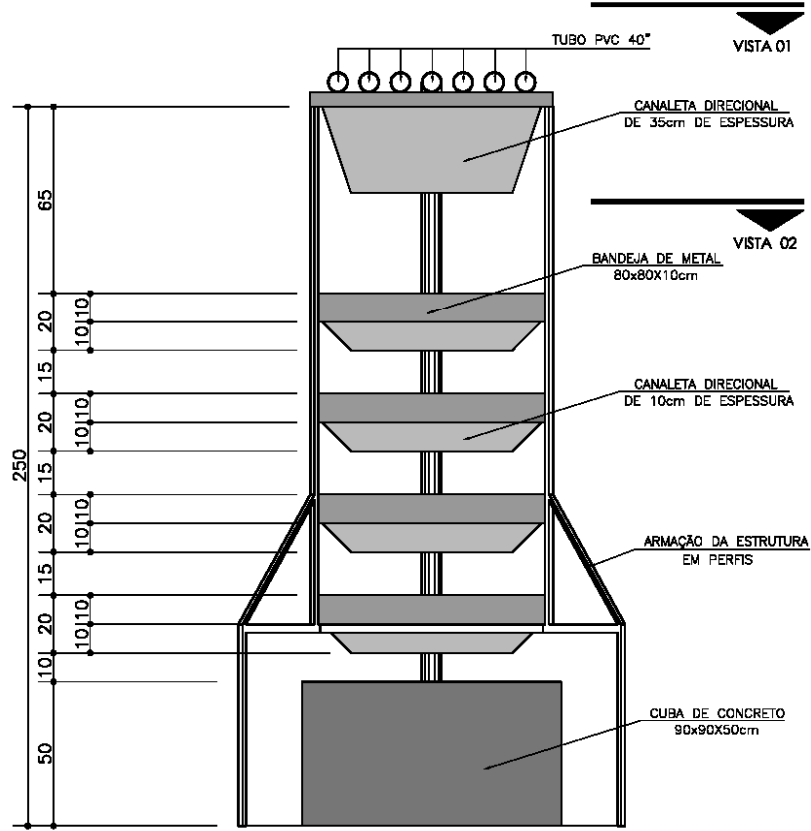
FOLHA

2A

OBRA
TORRE DE ARRASTE DE AMÔNIA
 PRANCHA
 VISTA SUPERIOR 01 E 02

ALUNA
 ANDRESA


ESC
 INDICADA

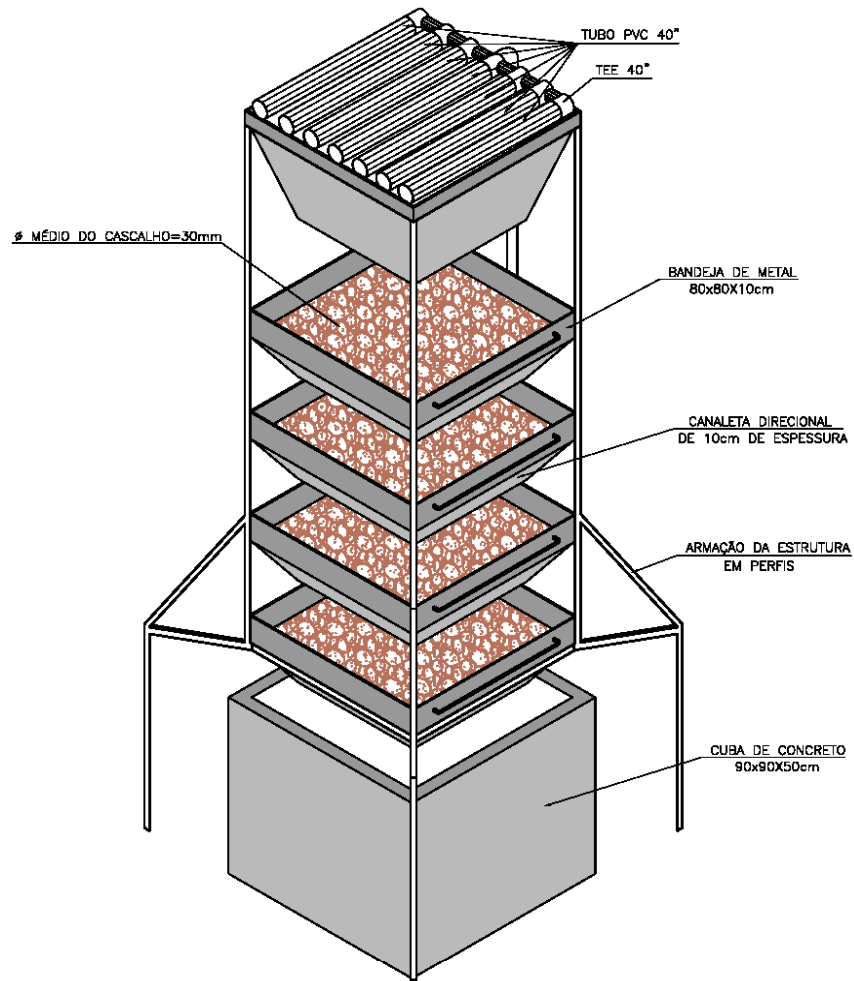


VISTA FRONTAL


ESC.....1:50

* OBS.: UNIDADES EM CENTÍMETRO

 <p>UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS - PTARH</p>	DATA OUT/2008
	FOLHA 2B
OBRA TORRE DE ARRASTE DE AMÔNIA	ESC INDICADA
PRANCHA VISTA FRONTAL	
ALUNA ANDRESA	



VISTA ISOMÉTRICA
 ESC.....1:25

 <p>UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS - PTARH</p>	<p>DATA OUT/2008</p>
	<p>FOLHA 2C</p>
<p>OBRA TORRE DE ARRASTE DE AMÔNIA PRANCHA VISTA ISOMÉTRICA</p>	<p>ESC INDICADA</p>
<p>ALUNA ANDRESA</p>	

