UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

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*).

BIANCA COELHO MACHADO

ORIENTADOR: MARCO ANTONIO ALMEIDA DE SOUZA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS

PUBLICAÇÃO: PTARH.DM – 100/06.

BRASÍLIA/DF: SETEMBRO – 2006.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

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*).

BIANCA COELHO MACHADO

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)

_____

Profª Ariuska Karla Barbosa Amorim, DSc (ENC-UnB) (Examinadora Interna)

_____

Prof. Carlos Eduardo Matheus, DSc (EESC-USP) (Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 29 DE SETEMBRO 2006

FICHA CATALOGRÁFICA

MACHADO, BIANCA COELHO

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*) [Distrito Federal] 2006.

xvii, 126 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2006).

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

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Tratamento de água residuária 2. Reúso de água

3. Lagoa de estabilização 4.Piscicultura

5. Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus)*

I. ENC/FT/UnB II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

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, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 126 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Bianca Coelho Machado

TÍTULO: 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*).

GRAU: Mestre ANO: 2006

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.

_____

Bianca Coelho Machado

Trav. Castelo Branco, 1116 apto: 802

66.063-080 Belém – PA – Brasil.

Aos meus pais, Cecília e Antonio Machado, e à minha irmã, Bruna Machado, eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, meu Amigo de todas as horas, onde eu sempre busco forças para seguir em frente e que, nos momentos de vacilação, carrega-me no colo, fazendo as batalhas serem mais brandas. E à minha querida MAEZINHA, Nossa Senhora de Nazaré, que trilha meus passos pelo caminho da vitória.

Ao meu orientador e amigo, professor Marco Antonio Almeida de Souza, que acreditou em mim, soube conduzir essa pesquisa de maneira eficiente, auxiliando-me nos momentos de dúvidas e que muitas vezes foi meu confidente, deixando-me chorar em seu ombro. Professor, obrigada por tudo.

Aos demais professores do PTARH, em especial a professora Ariuska Karla Barbosa Amorim, pelas contribuições.

Ao professor Carlos Eduardo Matheus, pelas contribuições e amizade.

Á Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, por permitir que usássemos sua estrutura física.

Aos profissionais da ETE Samambaia que me auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa, em especial ao engenheiro Mauro Felizatto, Jacinto Néri Carvalho, Moab de Jesus Leite e Isael Machado de Almeida.

Aos veterinários Adalmyr Moraes Borges e Fernanda Matos Távora, pelo apoio.

À engenheira Amy Vasconcelo de Souza, pelas sugestões dadas, pelo material concedido e pelo apoio no decorrer da pesquisa.

Aos meus colegas de mestrado: Ana Elisa, Andréia, Cláudia, Cristina, Débora, Deborah, Edson, Flávia, Gustavo, Gabriel, José Ricardo, Mariana, Rafael e Renata, por estarem ao meu lado nessa nova etapa da minha vida. E a todos os colegas do PTARH: Simone, Simoneli, Jailma, Cristiane, Camila, Jennifer, Lygia, Mitiê, Alcione, Renan Eneida, Carolina, Neusa, Lorena, Luciano, Georgenis, Ronaldo, Jorge, Domingo, Jussanã, Luciana, Selma, Rosangela.

Ás minhas "cumadres" Andresa Cristina de Andrade e Marília Souza, por terem cuidado dos meus peixes quando me ausentei de Brasília e porr me ajudarem quando precisei.

Aos técnicos do Laboratório de Análise de Água: Roseli, Boy e Simone.

À professora Ângela Patrícia Santana e aos técnicos do Laboratório de Agronomia e Veterinária, Nara Rúbia Souza, Daniella de Castro Custódio e Hudson Holanda de Andrade.

Ao professor Ronaldo Stefanutti, pelas contribuições no decorrer da pesquisa.

Aos meus pais, Cecília e Antonio Machado, e minha "irmãmiga", Bruna Machado que sempre acreditaram, confiaram e patrocinaram meus sonhos, não me deixando desistir nunca. Muito obrigada. Amo vocês.

Ás minhas amadas avós, que, mesmo longe, torceram e rezaram pelo meu sucesso. Obrigada por tudo.

À minha querida família, representada pelos meus tios, tias, primos e primas que certamente acompanharam de longe minha luta, torcendo por mim, cada um ao seu modo. Em especial à minha madrinha, tia Fátima e sua família, ao meu segundo pai, tio Celso, e a minha "tiamiga", Sandra, pelo amor e carinho. E a minha grande amiga Lúcia Vera do Passos Nascimento, pelo carinho e torcida.

À tia Zezé e toda a sua família, que me receberam de braços abertos e me adotaram como filha, souberam me acalentar nos momentos difíceis, festejaram comigo as vitórias e sempre torceram e acreditaram no meu sucesso. Não tenho palavras para agradecer o que vocês fizeram por mim. Amo todos.

À tia Rose, tio Carlos, Octávio, Augusto, tia Zi, dona Socorro e Selminha que sempre torceram e confiaram em mim. Vocês fazem parte da minha família. Obrigada pela torcida.

Aos meus amigos Elisandra Medeiros e Ronaldo Lamprecht, pelo apoio.

"A noção de 'resto' não existe na natureza. Mesmo os produtos de serem considerados como tal, por exemplo, os que resultam da digestão ou excreção animal, assumem o aspecto de matéria prima para outros organismos".

Jean Dorst

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 1

2 OBJETIVOS..... 4

2.1 OBJETIVOS GERAIS..... 4

2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS..... 4

3 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 6

3.1 REÚSO DE ÁGUA..... 8

3.1.1 Histórico do reúso de água..... 8

3.1.1.1 África..... **8**

3.1.1.2 Austrália..... **9**

3.1.1.3 Brasil..... **10**

3.1.1.4 Estados Unidos da América..... **10**

3.1.1.5 Europa..... **12**

3.1.1.6 Japão..... **13**

3.1.2 Tipos de reúso de água..... 13

3.1.3 Definições e conceitos..... 16

3.1.4 Padrões de qualidade para reúso de água..... 17

3.1.4.1 Aspectos envolvidos..... **17**

3.1.4.2 Padrões e orientações da OMS..... **18**

3.1.4.3 Padrões norte-americanos..... **21**

3.2 PISCICULTURA E REÚSO DE ÁGUA EM PISCICULTURA..... 25

3.2.1 Objetivos, vantagens e problemas da piscicultura..... 25

3.2.2 Critérios de qualidade de água para reúso em aqüicultura..... 26

3.2.2.1 Padrões brasileiros de reuso de água em piscicultura..... **27**

3.2.3 Reúso de água em piscicultura no mundo..... 28

3.2.3.1 Calcutá, Índia..... **28**

3.2.3.2 Peru..... **29**

3.2.3.3 Egito..... **32**

3.2.3.4 Brasil..... **33**

3.2.3.5 Características dos trabalhos já realizados no mundo..... **44**

3.2.4 Técnicas de fertilização..... 47

3.2.5 Sistemas de manejo..... 49

3.2.5.1 Extensivo..... 49
3.2.5.2 Semi – intensivo..... 49
3.2.5.3 Intensivo..... 50
3.2.5.4 Superintensivo..... 50
3.2.6 Monitoramento de peixes durante o cultivo..... 51
3.2.6.1 Técnica da amostragem..... 51
3.2.6.2 Técnica de seleção..... 52
3.3 ESPÉCIES, LINHAGENS E HÍBRIDOS DE TILÁPIA..... 53
3.4 CARACTERISTICAS E FATORES RELEVANTES DA ESPÉCIE UTILIZADA..... 54
3.4.1 Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)..... 55
3.4.2 Idade dos peixes..... 57
3.4.3 Temperatura..... 57
3.4.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)..... 58
3.4.5 Oxigênio Dissolvido (OD)..... 59
3.4.6 Amônia..... 61
3.4.7 Salinidade e condutividade..... 64
3.4.8 Considerações relevantes no cultivo de tilápia..... 64
3.5 TANQUE-REDE..... 65
3.5.1 Tanques-rede de grande volume (GV)..... 66
3.5.2 Tanques-rede de pequeno volume (PV)..... 66
3.5.3 Construção do tanque-rede..... 67
3.5.4 Formato do tanque-rede..... 67
3.5.5 Tamanho da malha..... 68
3.5.6 Densidade de estocagem..... 68
4 MATERIAIS E MÉTODOS..... 69
4.1 DESCRIÇÃO DA ETE SAMAMBAIA..... 69
4.1.1 Monitoramento da estação de tratamento de esgoto..... 71
4.2 TANQUES PISCICOLAS EXPERIMENTAIS..... 72
4.2.1 Delineamento experimental..... 72
4.2.2 Características físicas dos tanques piscícolas..... 73
4.3 ESTOCAGEM DE PEIXES..... 74
4.4 AMOSTRAGEM DE PEIXES..... 75

4.5 DESCRIÇÃO DA UNIDADE PILOTO DE PISCICULTURA..... 75
4.5.1 Cerca..... 75
4.5.2 Tela de proteção contra ataques de aves..... 76
4.5.3 Canal de distribuição e medidor de vazão..... 76
4.5.4 Saída do tipo monge..... 77
4.5.5 Instalação de apoio e laboratório..... 78
4.6 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA..... 78
4.6.1 Exames e análises físico-químicos..... 79
4.6.2 Análises bacteriológicas..... 79
4.6.3 Análises biológicas..... 79
4.6.4 Dados biométricos e da análise de qualidade sanitária nos peixes..... 82
4.7 ALTERAÇÕES REALIZADAS..... 82
4.8 DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS..... 84
4.8.1 Experimento 1..... 84
4.8.2 Experimento 2..... 84
4.8.3 Experimento 3..... 85
4.9 ACLIMATAÇÃO..... 86
4.9.1 Fase 1..... 86
4.9.2 Fase 2..... 86
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 88
5.1 PARTE EXPERIMENTAL..... 88
5.1.1 Experimento 1..... 88
5.1.2 Experimento 2..... 88
5.1.3 Experimento 3..... 89
5.2 RESULTADO DO EXPERIMENTO 2..... 89
5.2.1 Condutividade..... 89
5.2.2 Temperatura..... 91
5.2.3 pH..... 94
5.2.4 Oxigênio dissolvido..... 95
5.2.5 Amônia..... 99
5.2.6 Coliformes totais e termotolerantes..... 102
5.2.7 Clorofila-a, sólidos suspensos e transparência..... 103
5.2.8 DQO..... 105

5.3 EXPERIMENTO 3: ACLIMATAÇÃO..... 106
5.3.1 Temperatura..... 106
5.3.2 pH..... 108
5.3.3 Oxigênio Dissolvido..... 110
5.3.4 Amônia..... 113
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 116
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... 119
`

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Eliminação prevista de microorganismos por vários processos de tratamento.....	6
Tabela 3.2	Estimativa de uso de águas residuárias nos Estados Unidos, em 1995.....	12
Tabela 3.3	Tipos de reúso de água.....	14
Tabela 3.4	Termos relevantes em reúso de água.....	16
Tabela 3.5	Qualidade microbiológica recomendada pela OMS para uso de águas residuárias na agricultura.....	20
Tabela 3.6	Critérios de tratamento e reúso não-potável de água no Estado da Califórnia.....	22
Tabela 3.7	Critérios de tratamento e reúso não-potável de água no Estado da Florida.....	23
Tabela 3.8	Critérios para reúso de água da Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA).....	24
Tabela 3.9	Critérios de qualidade microbiológica para reúso em aqüicultura.....	27
Tabela 3.10	Qualidade bacteriológica de peixes em função da contagem total de bactérias.....	27
Tabela 3.11	Características dos experimentos realizados na segunda fase do projeto.....	30
Tabela 3.12	Freqüência da coleta de dados para análises.....	34
Tabela 3.13	Análises e exames realizados no sistema experimental de tanques de peixes e respectivas freqüências.....	37
Tabela 3.14	Características do cultivo de peixe no tanque piscícola.....	40
Tabela 3.15	Diferenças das etapas realizadas no experimento de Viçosa.....	42
Tabela 3.16	Pesquisas desenvolvidas no Brasil na área de reúso de água.....	43
Tabela 3.17	Características de alguns trabalhos já realizados na Índia.....	45
Tabela 3.18	Características de alguns trabalhos já realizados no Peru.....	45
Tabela 3.19	Características de alguns trabalhos já realizados no Egito.....	45
Tabela 3.20	Características de alguns trabalhos já realizados no Brasil.....	45
Tabela 3.21	Comparação entre os sistemas de manejo existentes.....	51
Tabela 3.22	Técnicas de Amostragem *versus* Técnica de Seleção.....	53
Tabela 3.23	Característica das espécies de tilápias mais cultivadas.....	54
Tabela 3.24	Principais Considerações a Respeito do Cultivo de Tilápia em Lagoas, Viveiros e Campos de Arroz.....	65
Tabela 3.25	Comparação entre características dos tanques-rede GV e tanques-rede PV.....	67
Tabela 3.26	Tamanhos de malhas recomendados para a produção de tilápias em tanques-rede em função do tamanho dos peixes.....	68
Tabela 4.1	Resultados operacionais da ETE Samambaia no período de agosto e setembro de 2005, na lagoa de polimento final.....	72
Tabela 4.2	Características operacionais dos tanques piscícolas.....	73
Tabela 4.3	Parâmetros físico-químicos e microbiológicos a serem analisados no afluente e efluente, nos tanques de piscicultura e nos peixes.....	80
Tabela 5.1	Resultados de condutividade na superfície dos tanques TA, TB e TC durante o experimento 2.....	90
Tabela 5.2	Valores da temperatura na superfície dos tanques TA, TB e TC no experimento 2.....	92

Tabela 5.3	Perfil de temperatura no tanque TA.....	93
Tabela 5.4	Valores de pH na superfície dos tanques TA, TB e TC no decorrer do experimento 2.....	94
Tabela 5.5	Valores de OD na superfície dos tanques TA e TC no experimento 2.....	96
Tabela 5.6	Perfil de OD no tanque TA.....	97
Tabela 5.7	Valores de amônia total e amônia tóxica, calculado, no tanque TA no experimento 2.....	100
Tabela 5.8	Valores de coliformes termotolerantes nos tanques TA, TB e TC no experimento 2.....	102
Tabela 5.9	Resultados de clorofila-a, sólidos suspensos e transparência nos tanques TA e TC.....	104
Tabela 5.10	Resultados de DQO no afluente e efluente dos tanques TA, TB e TC.....	105
Tabela 5.11	Valores de temperatura na fase de aclimatação, no experimento 3.....	106
Tabela 5.12	Valores de temperatura na fase de adaptação, no experimento 3.....	107
Tabela 5.13	Valores de pH na fase de aclimatação, experimento 3.....	108
Tabela 5.14	Valores de pH na fase de adaptação, experimento 3.....	109
Tabela 5.15	Concentrações de oxigênio dissolvido na fase de aclimatação, experimento 3.....	110
Tabela 5.16	Concentrações de oxigênio dissolvido na fase de adaptação, experimento 3.....	111
Tabela 5.17	Valores de amônia na fase de aclimatação, no experimento 3.....	113
Tabela 5.18	Valores de amônia na fase de adaptação, experimento 3.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Principais tipos de reuso.....	15
Figura 3.2	Sistemas de aqüicultura direta e indireta utilizando excreta, esgotos ou compostos.....	47
Figura 3.3	Sistema de fertilização indireta sugerida para implementação no Brasil.....	48
Figura 3.4	Tilápia do Nilo utilizada na pesquisa.....	55
Figura 3.5	Fêmea de tilápia do Nilo praticando a incubação bucal.....	56
Figura 4.1	Fluxograma do sistema de tratamento de esgoto da ETE Samambaia.	71
Figura 4.2	Vista da Unidade de Piscicultura de Samambaia (UPS).....	73
Figura 4.3	Tela de proteção contra ataque de aves que cobriu os tanques TA e TC.....	76
Figura 4.4	Croqui as saída do tipo monge dos tanques da ETE Samambaia vista em corte, sem escala.....	77
Figura 5.1	Condutividade nos tanques TA, TB e TC no experimento 2.....	90
Figura 5.2	Temperatura na superfície nos tanques TA, TB e TC no experimento 2.....	92
Figura 5.3	Valores de pH na superfície dos tanques TA, TB e TC durante o experimento 2.....	95
Figura 5.4	Comportamento do OD, na superfície, nos tanques TA e TC, no decorrer do experimento 2.....	96
Figura 5.5	Concentração de amônia total no tanque TA no decorrer do experimento 2.....	99
Figura 5.6	Concentração de amônia tóxica (NH_3) no tanque TA no decorrer do experimento 2.....	101
Figura 5.7	Concentrações de coliformes termotolerantes nos tanques TA, TB e TC, no decorrer do experimento 2.....	103
Figura 5.8	Temperatura na fase de aclimatação, no experimento 3.....	107
Figura 5.9	Temperatura na fase de adaptação, no experimento 3.....	108
Figura 5.10	Comportamento do pH na fase de aclimatação, experimento 3.....	109
Figura 5.11	Comportamento do pH na fase de adaptação, experimento 3.....	110
Figura 5.12	Concentrações de oxigênio dissolvido na fase de aclimatação, experimento 3.....	111
Figura 5.13	Concentrações de oxigênio dissolvido na fase de adaptação, experimento 3.....	112
Figura 5.14	Valores de amônia na fase de aclimatação, no experimento 3.....	114
Figura 5.15	Valores de amônia na fase de adaptação, experimento 3.....	115

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIATURAS.

APHA.....American Public Health Association
AWWA.....American Water Works Association
CAESB.....Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CEPIS.....Centro Panamericado de Ingenieria Sanitária y Ciências del Ambiente
CETESB.....Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CNRH.....Conselho Nacional de Recursos Hídricos
ETE.....Estação de Tratamento de Esgoto
EPA.....Environmental Protection Agency
IRCWD.....International Reference Centre for Waste Disposal
LMP.....Lagoa de Maturação Primária
LMS.....Lagoa de Maturação Secundária
LMT.....Lagoa de Maturação Terciária
OMS.....Organização Mundial de Saúde
ppt.....Parte por Trilhão
UFC/g.....Unidade Formadora de Colonia por grama
UNALM.....Universidad Nacional Agraria La Molina
WPCF.....Water Pollution Control Federation
µg.....Micrograma

RESUMO

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*).

O enfoque principal desta pesquisa é a utilização de águas residuárias tratadas da ETE-Samambaia para criação de peixes. Objetivou-se avaliar se a qualidade do efluente da estação é apropriada para a criação da espécie tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e, em caso negativo, que soluções podem ser dadas para a situação. O trabalho foi desenvolvido em três tanques piscicolas: o primeiro recebeu efluente da estação e alevinos, sem alimentação complementar (denominado TA); o segundo tanque recebeu apenas efluente, (chamado TB); e o terceiro tanque recebeu água natural e alevinos, que foram alimentados com ração artificial, (nomeado TC). As análises de água realizada foram: DQO; ST; SST; SDT; NTK; NH_4-N; NO_3-N; PO_4-P; DBO; medidas de transparência com Disco de Secchi; pH; temperatura; OD e condutividade; Coliformes Totais e Termotolerantes e Clorofila-a. Pretendia-se avaliar a qualidade sanitária dos peixes, bem como presença de *Salmonella sp*, Coliformes Fecais, Mesófilas e Clostridium sulfito redutores. Devido a 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 aclimatação, que consistia em estocar alevinos em reservatórios de água para verificar a aceitabilidade do lote (fase 1) e depois adaptar os alevinos às condições adversas às quais eles seriam expostos (fase 2). Na fase 1, os alevinos foram considerados aptos para o cultivo. Na fase 2, não se percebeu a mortandade de peixes, apesar da condição a qual eles foram expostos ter sido considerada inadequada para a criação da espécie. Contudo, a qualidade da água na fase 2 era melhor que as condições do tanque TA. Observou-se, ao final do experimento, a mortandade 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 $mg \cdot L^{-1}$ e a concentração média de OD, 2,4 $mg \cdot L^{-1}$.

ABSTRACT

EVALUATION OF THE QUALITY EFFLUENT FROM SAMAMBAIA (DF) WASTEWATER PLANT SERIAL STABILIZATION LAGOON FOR TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) CULTIVATION .

This principal focus of this research is the utilization of residuaries wathers treated on ETE Samambaia for fish cultivation. Its objective was to evaluate if the effluent quality from the station is appropriate for the creation of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and, if the results are negative, which solutions could be given to the situation. The work was developed in three cultivation tanks: the first one was received effluent form de station and young fish fed with the Plant effluent and received young fish without any complementary food (TA tank); the second one received only treated effluent (TB tank); and the third tank received natural water and young fish, which was given artificial ration (TC tank). The water's analysis performed were COD, Total Solids, Suspended Solids, Dissolved Total Solids, TKN, Ammonia Nitrogen, Nitrate Nitrogen, Orthophosphate, BOD, Secchi Disk transparency, pH, temperature, DO, conductivity, total coliform, termotolerant coliform, and chlorophyll-a. The intention was also to evaluate the fish sanitary quality through the presence of *Salmonella sp*, faecal coliform, mesophile and Clostridiun sulfide reductors bactéria. Due to unpredictable problems observed during the planned experiment, it was necessary to make some adaptations to the original proposed methodology. The first one was the utilization of tanks-net inside the two thanks that recived young fish until the fish grew up 25g. The second was inserted into the original methodology, procedure consisting of stocking young fish in separated water tanks to verify the fish suitability (phase 1) and than adapt the young fish to the adverse conditions they should be exposed (phase 2). During the phase 1, the young fish were considered able to be cultivated. During the phase 2, there was no mortality of the fishes despite the water quality for fish cultivation was considerated inapropriated. However, the water quality in the phase 2 was better than the TA tank. At the end of the experiment, it was observed the number of the stocked of dead fish. One of the reasons caused the mortality was provocate by the high ammonia contents and the low dissolved oxygen concentrations present in the cultivation tanks' water. The average ammonia concentration in the TA tank during the experiment 2 was 22 $mg \cdot L^{-1}$ and the average DO was 2,4 $mg \cdot L^{-1}$.

1 – INTRODUÇÃO

A população mundial vem crescendo a cada ano, de maneira assustadora. Segundo o Fundo de População das Nações Unidas, em 2002, eram mais de 6,1 bilhões de habitantes em todo o mundo. Contudo, os recursos naturais não acompanham esse desenvolvimento e se tornam cada vez mais escassos, o que é devido à forma dispendiosa de como são utilizados.

Sabe-se que, nos dias atuais, um bilhão e duzentos milhões de pessoas, não têm acesso à água tratada e que, ainda, um bilhão e oitocentos milhões de pessoas não contam com serviços adequados de saneamento básico. Diante desses dados, estima-se que dez milhões de pessoas morrem anualmente em decorrência de doenças intestinais transmitidas pela água (CETESB, 2005).

Segundo a BBC Brasil (BBC Brasil, 2005), cerca de 30% da população mundial sofre de algum tipo de desnutrição. E que as atividades humanas degradaram mais de 15% dos recursos naturais da Terra, um exemplo disso é que em 1951, 95% dos estoques de peixe não eram devidamente explorados e, atualmente, quase um terço é explorado em demasia.

Apesar de o Código das Águas, de 1930, assim como a atual Lei Nacional de Recursos Hídricos afirmarem que o abastecimento para consumo humano é prioridade do uso da água, não é o que vem acontecendo. Sabe-se que, atualmente, a agricultura irrigada consome cerca de 60% da água potável existente no Brasil e que, segundo a Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento, 40% dos serviços de abastecimento de água para consumo humano são irregulares, visto que ocorre a redução de vazão dos mananciais na época de estiagem (Bastos e Marques, 2003).

Por tudo isso, o Brasil tem seguindo a recomendação da ONU, cuja cartilha indica que se cobre pela água, para reduzir o seu uso e tentar afastar o problema de âmbito mundial, que a sua escassez (Silva *et al.*, 2003).

Contudo, somente a cobrança não é suficiente, torna-se indispensável educar a população em torno da importância do uso racional de água, da necessidade de controle de perdas e

desperdícios, além de adotar alternativas complementares, dentre as quais pode-se citar o reúso de água.

Nesse sentindo, o uso de água tratada, para diversos fins, torna-se uma atitude recomendável. Contudo, esse reúso não pode acontecer de maneira indiscriminada, visto que muitas doenças estão relacionadas com o consumo ou com o contato de água não tratada.

Assim, deve-se priorizar não só o reúso de água como forma de evitar conflitos posteriores e melhorar o manejo dos recursos hídricos, mas também o tratamento das águas residuárias que serão utilizadas, como forma de prevenir a contaminação por enteropatogênicos de veiculação hídrica, além de ser possível a produção de proteína a baixo custo, quando se reutiliza a água para a pratica de piscicultura, por exemplo, aliando, assim questões ambientais e sociais.

Ao utilizar a piscicultura como pós-tratamento, grandes benefícios podem ser conseguidos, sem elevar os custos. Um exemplo de beneficio é a diminuição da concentração de sólidos suspensos. Segundo Henderson (1979) *apud* Felizatto (2000), a provável influência dos peixes na qualidade da água é a remoção adicional de sólidos suspensos.

Outra vantagem que se pode ter com a prática do reúso em piscicultura é a produção de alimento a baixo custo. Os peixes cultivados nos efluentes das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) seriam utilizados pela população de baixa renda. Contudo, essa experiência nunca foi desenvolvida no Brasil, pois existem muitas controvérsias quanto a legislação vigente no país e há ainda pouca aceitabilidade quanto aos peixes produzidos, porém essa prática já é desenvolvida em outros países, Peru é um deles.

Um grande problema encontrado para o desenvolvimento do reúso em piscicultura é a qualidade do efluente utilizado. Apesar de se utilizar espécies de peixes que sobrevivem a condições bastante desfavoráveis, nem sempre a qualidade desses efluentes permite que os peixes estocados sobrevivam, sendo assim, a qualidade dessa água é de suma importância.

Sendo assim, o enfoque principal deste trabalho passa a ser o reúso de água em piscicultura. Pretendendo-se avaliar se a qualidade do efluente da ETE Samambaia,

vislumbrando a utilização desse efluente para a prática da pisicicultura e, caso esse efluente não permita a sobrevivência da espécie estocada, quais os motivos da mortandade dos peixes e que soluções poderão ser tomadas para reverter a situação.

2 - OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

A presente pesquisa teve, no seu ponto de partida, o objetivo geral de determinar a viabilidade do cultivo de tilápia do Nilo em sistemas de reúso de água compostos por tanques piscícolas alimentados de forma contínua com efluentes de sistemas de tratamento de esgotos sanitários compostos de lagoas de estabilização em série.

Contudo, a partir de problemas de sobrevivência da tilápia, nas condições locais do estudo, que foram identificados no decorrer da pesquisa, o objetivo principal desse trabalho passou a ser a identificação da causa da mortandade elevada dos peixes.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

No início da pesquisa, os objetivos específicos identificados foram os seguintes:

1. Avaliar a eficiência do tanque piscícola como uma etapa de pós-tratamento da lagoa de polimento final do Módulo I da ETE Samambaia, com introdução contínua de efluente de esgotos tratados, sem qualquer complemento alimentar, e operando em um tempo de detenção hidráulico fixo;
2. Analisar a qualidade dos efluentes da ETE Samambaia em relação a sua potencialidade de ser utilizada em sistemas de reúso de água em piscicultura;
3. Avaliar a qualidade da água dos efluentes dos tanques piscícolas experimentais a fim de verificar diferentes formas de reúso integrado do efluente;
4. Avaliar possíveis impactos que efluentes dos tanques piscícolas experimentais podem causar ao meio ambiente ao ser lançado nos corpos d'água;
5. Avaliar a influência do clima sobre a qualidade da água dos tanques piscícolas experimentais e produtividade piscícola (taxa de crescimento, mortandade, etc) a partir dos parâmetros adotados;
6. Avaliar a produtividade aquícola ($Kg \cdot (ha \cdot d)^{-1}$) da tilápia, com uma única densidade de estocagem inicial (gramas e/ou peixes$\cdot(m^2)^{-1}$ ou gramas e/ou peixes$\cdot(m^3)^{-1}$), nos tanque piscícolas; e

7. Avaliar a qualidade sanitária, por amostragem, dos peixes cultivados com água residuária tratada.

Com os problemas identificados na tentativa de seguir a metodologia proposta para a consecução dos objetivos preconizados anteriormente, ocorreu a necessidade de mudança de orientação e foco da pesquisa. Tornou-se imprescindível, para se conseguir os objetivos anteriores, pesquisar as condições ambientais que possibilitassem a sobrevivência da espécie de peixes selecionada. Sendo assim, formularam-se as seguintes hipóteses:

1 – A causa da mortandade da tilápia do Nilo é o baixo teor de Oxigênio Dissolvido existente no tanque experimental de piscicultura.
2 – A concentração de amônia livre presente no tanque piscícola experimental é mais alta do que o teor máximo recomendado para se evitar toxicidade à tilápia do Nilo.
3 – A biomassa de plâncton que se cria no tanque piscícola ou se adiciona pelo efluente das lagoas de estabilização é muito alta, ultrapassando as concentrações normalmente utilizadas em piscicultura.
4 – O excesso de biomassa ocasiona teores de OD muito baixos nos tanques experimentais,
5 – Pode-se conseguir a sobrevivência de peixes da espécie *Oreochromis niloticus* mediante sua aclimatação e adaptação em algumas condições especialmente selecionadas.

A partir dessas hipóteses, fixaram-se os seguintes objetivos específicos da pesquisa:

1 – Estudar as condições existentes, em termos de OD, amônia livre, pH e temperatura, dentro do tanque experimental de piscicultura, que podem ser responsáveis pela mortandade dos peixes.
2 – Avaliar a qualidade do efluente da ETE Samambaia em relação aos requisitos de reúso de água em piscicultura, principalmente daqueles parâmetros potencialmente conducentes à mortandade da espécie estudada.
3 – Avaliar a influência da aclimatação e adaptação na sobrevivência dos peixes da espécie em estudo.
4 – Analisar a concentração de fitoplâncton na água dos tanques experimentais de piscicultura, por meio da medida de clorofila-a, e verificar se esse é um motivo da morte dos peixes.

3 - FUNDAMENTAÇÃO TEORICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Organização Mundial de Saúde – OMS – (OMS, 1989) afirma que na América Latina, em 1985, apenas 10% dos esgotos coletados eram tratados antes da disposição final, o que significa que todo o restante estava sendo lançado sem nem uma forma de tratamento no meio ambiente.

Essa situação não é diferente no Brasil, pois se reconhece hoje, que somente cerca de 15% a 20% de todo o volume de esgoto coletado recebe algum tipo de tratamento no País; realidade preocupante em termos de saúde pública e impacto ambiental (Bastos e Marques, 2003). Nesse contexto, a remoção de patógenos é o principal objetivo nas atuais e futuras estações de tratamento de esgotos domésticos.

No Relatório de Engelberg (IRCWD, 1985 e CEPIS, 1998), são apresentadas as possibilidades de eliminação de alguns microorganismos patogênicos por meio dos processos de tratamento de esgotos existentes. A Tabela 3.1 apresenta, de maneira mais detalhada, esses processos.

Tabela 3.1: Eliminação prevista de microorganismos por vários processos de tratamento. (OMS, 1989).

PROCESSOS DE TRATAMENTO	REMOÇÃO (UNIDADES Log_{10})			
	Bactérias	Helmintos	Vírus	Cistos
Sedimentação Primária				
Natural	0 – 1	0 – 2	0 – 1	0 – 1
Com precipitação química [a]	1 – 2	1 – 3 [g]	0 – 1	0 – 1
Lodos ativados [b]	0 – 2	0 – 2	0 – 1	0 – 1
Filtros biológicos [b]	0 – 2	0 – 2	0 – 1	0 – 1
Lagoas aeradas [c]	1 – 2	1 – 3 [g]	1 – 2	0 – 1
Valos de oxidação [b]	1 – 2	0 – 2	1 – 2	0 – 1
Desinfecção [d]	2 – 6 [g]	0 – 1	0 – 4	0 – 3
Lagoas de Estabilização [e]	1 – 6 [g]	1 – 3 [g]	1 – 4	1 – 4
Reservatório de efluentes [f]	1 – 6 [g]	1 – 3 [g]	1 – 4	1 – 4

[a] Há necessidade de investigações mais detalhadas para confirmar esses resultados.
[b] Incluindo a Sedimentação Secundária.
[c] Incluindo tanques de Sedimentação.
[d] Cloração e Ozonização.
[e] Os resultados dependem do número de lagoas em série e de outros fatores ambientais.
[f] Os resultados dependem do tempo de detenção, que vária com a demanda.
[g] Com um bom projeto e com boa operação, é possível cumprir essas diretrizes recomendadas.

Por serem os males endêmicos de veiculação hídrica um problema crucial nos países em desenvolvimento, a remoção de helmintos, protozoários, bactérias e vírus patogênicos torna-se o objetivo primordial do tratamento de águas residuárias nesses países. Diferentemente, nos países desenvolvidos a remoção de matéria orgânica e de nutrientes é a meta principal do tratamento de águas residuárias, visto que a população contribuinte é menos infectada e casos de parasitismo são excepcionais (León e Moscoso, 1996).

Por atingirem o objetivo de se obterem densidades de patógenos suficientemente baixas nos efluentes tratados e de liberar nutrientes e biomassa de algas nas águas, que são aproveitáveis na agricultura e piscicultura, as Lagoas de Estabilização são a forma de tratamento recomendada pela Organização Pan-Americana de Saúde (OPS), desde que o tempo de detenção seja igual ou superior a 25 dias. Além disso, por necessitarem de pouco ou nenhum equipamento e energia convencional, de exigirem operação simples e por demandarem grandes áreas, as lagoas de estabilização são bastante utilizadas em países em desenvolvimento, onde a demanda por área ainda não é um obstáculo (CEPIS, 1998; Moscoso e Muñoz, 1991; Mara e Cairncross, 1989; von Sperling, 1996).

Vale salientar que o processo de tratamento e recuperação de águas residuárias a ser escolhido dependerá da qualidade do efluente tratado, que é função do uso que se quer dar a ele, bem como dos custos de investimento, operação e manutenção. Esses custos, para um mesmo tipo de processo, aumentam com a eficiência exigida do processo.

Nesse sentido, torna-se indispensável o desenvolvimento de técnicas avançadas para solucionar os problemas enfrentados atualmente, e que não ofereçam qualquer risco a saúde da população. Sendo assim, não se pode mais imaginar o reúso de água como uma realidade distante, ou como a última opção. Pois, hoje em dia, as águas residuárias tratadas podem substituir a água potável em muitas situações, o que ocasionará a maior disponibilidade de água para fins de consumo humano e um maior desenvolvimento da produção agrícola (agricultura, gado, manejo florestal e aqüicultura).

3.1 – REÚSO DE ÁGUA

A reutilização ou o reúso de água, ou o uso de águas residuárias, não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo há muitos anos. A seguir, são apresentadas experiências de reúso de água pelo mundo.

3.1.1 – Histórico do reúso de água

O emprego do reúso de água apresenta registros históricos desde os tempos mais remotos. Existem indicações da prática de irrigação agrícola utilizando águas residuárias há mais de 5.000 anos. Mais recentemente, o reúso de água não planejado, associado à falta de tratamento adequado de água e águas residuárias, resultou em epidemias catastróficas devido à disseminação de doenças de veiculação e origem hídrica, tais como cólera asiática e a febre tifóide, durante os anos de 1840 e 1850 (Asano e Levine, 1996).

No século IX, com o surgimento dos sistemas de esgoto sanitário, as águas residuárias foram utilizadas nas "fazendas de esgotos" e, a partir de 1900, estas fazendas se disseminaram nos Estados Unidos e Europa, sendo usadas primeiramente para a disposição de resíduos; contudo, o uso acidental dessas águas, acabou servindo para o cultivo e outras atividades (Metcalf e Eddy, 1991).

A partir da década de 90, houve um aumento no interesse da implantação do reúso de água no mundo, para os diferentes usos (agrícola, industrial e público), o que levou ao aumento da pressão por uma maior qualidade da água (Asano e Levine, 1996).

3.1.1.1 – África

Em 1968, na capital de Namíbia, Windhoek, África, por se situar em uma região muito árida, com escassez de mananciais, foi implantada uma estação de renovação de água, atingindo, aproximadamente, um terço da demanda doméstica de água, tornando-se assim, a primeira cidade no mundo a praticar o reúso para fins potáveis, em grande escala. O sucesso do projeto desenvolvido na cidade baseou-se na premissa de três elementos básicos que deveriam ser considerados: (1) os efluentes industriais e outros potencialmente tóxicos deveriam ser desviados do curso d'água principal; (2) o afluente deveria ser tratado de

modo a gerar um efluente de qualidade adequada e compatível para ser aceito como água potável; e (3) era indispensável o conceito de múltiplas barreiras na seqüência do tratamento para proteger a população contra patógenos, o que foi conseguido com a implantação de lagoas de maturação e a cloração do efluente. Esse projeto se desenvolveu a partir da parceria entre a cidade de Windhoek e o Instituto Nacional de Pesquisa de Água da África do Sul e em 1970 serviu de base para a implementação, em Pretoria, África do Sul, da Estação Experimental de Recuperação de Águas Residuárias (Hammer, 1979 e Haarhoff e Van der Merwe, 1996).

Na década de 80 foi lançada, na Tunísia, uma política de reúso de água para irrigação. Na época, 6.500 ha eram irrigados com efluente secundário, sendo planejado atingir nos anos seguintes uma área de 20.000 ha. Contudo, apenas 15% do total de água residuária tratada disponível eram utilizados, pois a irrigação só era praticada no país durante 6 meses do ano e o efluente tratado nos meses restantes não era armazenado. Um estudo desenvolvido a respeito do reúso de água na irrigação constatou que o desenvolvimento dessa área era dificultado mais pelas restrições de colheita do que pela ausência de fornecimento. Sendo assim, foi implantado o tratamento terciário com o objetivo de adaptar o tratamento ao que era exigido. Com as modificações, percebeu-se o aumento da taxa de armazenamento de água tratada, em reservatórios e aqüíferos, além do que a área turística foi incluída na política de reúso, pois campos de golfe, áreas verdes e jardins de hotéis passaram a ser irrigados com água tratada (Bahri e Brissaud, 1996).

3.1.1.2 – Austrália

O continente australiano é relativamente seco, com precipitações médias de 50 $mm \cdot (ano)^{-1}$, o que ocasiona a limitação do uso de águas superficiais para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos. O uso de água residuária ainda é pequeno na Austrália, menos de 10% das águas de uso urbano e industrial são destinadas ao reúso. Entretanto, uma proporção significativa de efluente tratado é lançada nos corpos d'água e usada indiretamente para a irrigação agrícola. Comumente a água é reutilizada após passar por tratamento terciário em irrigação de plantação, pastagem e paisagem urbana ou para o uso industrial. Na década de 90, desenvolveu-se consideravelmente o número de iniciativas na área de reúso e os benefícios dessa prática aumentaram rapidamente (Anderson, 1996).

3.1.1.3 – Brasil

No Brasil, na década de 50, uma fábrica automobilística, em São Caetano, São Paulo, já possuía estação de tratamento de águas residuárias e, em 1997, 100% da água residuaária industrial tratado era reciclado. Além disso, a mesma montadora, em sua filial em São José dos Campos, São Paulo, implantou, em 1976, uma estação para tratar os efluentes gerados, exemplo seguido por outras empresas da região que implementaram projetos de reúso de água, visando redução de custos e a conservação do meio ambiente (Ueharo, 1997).

Outro pólo industrial brasileiro que enfrentou problemas em relação à água foi o de Cubatão, onde muitas empresas precisam da água para a refrigeração de seus processos de fabricação. Em 1993, quatro fábricas da região começaram um programa de reúso de água, época em que começou a faltar água no local (Ueharo, 1997).

Santos (2000) desenvolveu pesquisa com o objetivo de avaliar a qualidade de efluentes finais de estações de tratamento de esgotos domésticos visando à utilização futura desses efluentes em programas de reúso planejado de água para o Distrito Federal, Brasil. Para tanto, foram analisados aspectos qualitativos e quantitativos dos efluentes, considerando as principais recomendações de padrões e critérios de qualidade da água. Os resultados preliminares mostraram que os efluentes das ETEs, em geral, apresentaram, em 1999, remoção de matéria orgânica medida por de Sólidos Totais (ST), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), remoção de matéria orgânica medida como: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Fósforo Total (P_T), resultando em efluentes finais de qualidade físico-química e sanitária adequada para reúso. Em relação às características pH, DBO, ST, turbidez, amônia e coliformes fecais, os efluentes de todas as estações de tratamento de esgotos necessitam se adequar à pelo menos uma delas. Essa adequação poderá ser feita com a concepção de um tratamento adicional, como desinfecção, relevante no controle bacteriológico da água para reúso ou ainda com a construção de novas unidades de tratamento como lagoas de estabilização.

3.1.1.4 – Estados Unidos da América

Os primeiros sistemas de reúso de água foram desenvolvidos para prover água para a irrigação. Projetos implementados nos Estados da Califórnia e do Arizona, no final de

1920, e, a partir de 1960, respectivamente, foram desenvolvidos sistemas de reúso de água urbanos no Colorado e na Flórida (Asano e Levine, 1996).

Almejando atender à crescente demanda por água, passou-se a desenvolver inúmeros projetos de recuperação e reúso de água. Um dos exemplos desses projetos foi a utilização de águas residuárias tratadas em um sistema auxiliar de distribuição para banheiros, irrigação de gramados, refrigeração e aquecimento no "Grand Canyon National Park", em 1926. Três anos após a experiência desenvolvida no "Grand Canyon National Park", Arizona, em 1929, a cidade de Pomona, Califórnia, iniciou um projeto utilizando águas residuárias recuperadas para irrigação de gramados e jardins. Contudo, antes mesmo do reúso ser aplicado no Arizona, o estado da Califórnia, já utilizava, em meados de 1912, águas residuárias, inicialmente sem tratamento e depois tratadas em tanque séptico, no parque Golden Gate, em São Francisco, para irrigação de gramados e abastecimento de lagos ornamentais (Metcalf e Eddy, 1991).

Em 1942, a indústria siderúrgica Bethlem, situada na cidade Baltimore, Maryland, passou a utilizar água residuária clorada e agora utiliza cerca de 38×10^4 $m^3 \cdot d^{-1}$ de efluente secundário para resfriamento de metais e processamento de aço (Metcalf e Eddy, 1991).

No período de 1953 a 1957, a região de Kansas, nos Estados Unidos, passou por uma grave seca, na qual a vazão do Rio Neosho decresceu e, praticamente cessou. Não existindo outro manancial na cidade de Chanute, as autoridades ficaram diante de duas alternativas: ou fechavam as indústrias existentes na cidade e cortavam severamente o consumo de água ou optavam pelo reúso das águas municipais. Decidindo reutilizar a água, o efluente tratado da estação de filtro biológico foi armazenado e bombeado de volta para o reservatório (em barragem) e em seguida para a cidade. Sendo o período médio de reciclo em torno de 20 dias (reservatório, estação de tratamento d'água, sistema de distribuição, estação de tratamento de esgoto e volta ao reservatório) e tempo de reciclagem operando em torno de 5 meses, pode-se concluir que Chanute, reusou a mesma água cerca de sete vezes (Hammer, 1979).

Estima-se que, em 1995, o volume de água reutilizada nos Estados Unidos era de 3,85 milhões de $m^3 \cdot d^{-1}$ (Metcalf e Eddy, 1993). A Tabela 3.2 mostra a divisão desse volume de água por categoria de uso, na época.

Tabela 3.2: Estimativa de uso de águas residuárias nos Estados Unidos, em 1995[a]. (Metcalf e Eddy, 1993).

CATEGORIA	ÁGUAS RECUPERADAS (10^3 $m^3 \cdot d^{-1}$)
Abastecimento Público	215,7
Comércio	71,9
Indústria	416,4
Termoelétricas	378,5
Mineração	53
Irrigação	2.717,6
Total	3.853,1

[a] Adaptado de Salley *et al.* (1998).

3.1.1.5 – Europa

A França é um país onde os recursos hídricos são abundantes e bem distribuídos. Entretanto, o reúso de água para a irrigação é uma prática antiga, cuja justificativa tem sido usualmente a eliminação de problemas de saneamento, evitando a diminuição da qualidade da água dos rios. Em 1989, existiam 6 projetos em operação, sendo que 7 anos depois, em 1996, foram propostos mais de 15 novos projetos, com o objetivo de proteger as águas destinadas ao lazer e a criação de moluscos, além de suprir a demanda para a irrigação de culturas (Bontoux e Courtois, 1996 e Faby *et al.*, 1999)

No ano de 1991, na Grécia, foi feito um levantamento das condições dos recursos hídricos existentes e do tratamento de esgoto, para avaliar o potencial de reúso de água no país. Muitas regiões gregas são caracterizadas pelo severo desequilíbrio de água, particularmente nos meses de verão, quando há uma queda na precipitação e essa se torna irregular, o que muitas vezes causa um aumento na demanda de água para irrigação. Nesse levantamento, observou-se que o reúso de 30 a 60% de água tratada é suficiente para irrigar uma área de 20.000 a 60.000 ha por ano, e que esta irrigação pode ser feita diretamente nos meses de verão ou pode-se, ainda, armazenar a água tratada nos meses frios para serem usadas posteriormente (Tchobanoglous e Angelakis, 1996).

Istambul, Turquia, é uma cidade que cresceu drasticamente na ultima década, o que causou problemas, tanto quantitativos quanto qualitativos, nos recursos hídricos existentes, além de poluir o ambiente marinho. Por esse motivo, foi avaliada a possibilidade de utilizar os efluentes tratados das estações de tratamento existentes na cidade. Concluiu-se, nessa pesquisa, que, de acordo com as características, o efluente da estação de Tuzla pode ser

destinado ao uso industrial, enquanto que os efluentes das ETEs de Papaköy e Tepeören podem ser utilizados indiretamente para uso potável, os efluentes tratados na estação de Büyükçekmece podem ser aproveitados para a irrigação e os da estação de Küçükçekmece pode-se destinar a recarga de aqüíferos próximos a ETE ou para o uso recreacional (Tanik *et al.*, 1996).

3.1.1.6 – Japão

Em 1951, o efluente secundário da estação de tratamento de Mikawashima, Tóquio, Japão, foi experimentalmente usado por uma indústria de papel, pois a qualidade da água do rio de onde a água era captada não satisfazia as exigências da fábrica e havia dificuldades em perfurar poços devido à quantidade de água disponível não ser suficiente. Após esse fato, muitas indústrias da região passaram a utilizar o efluente da estação, e o esgoto tratado era utilizado para a lavagem de trens de passageiros ou como suprimento nos projetos de rejeitos de incineração. Em 1968, foi implantado, no distrito de Shinjuku, o primeiro projeto de reúso de água voltado para a recuperação e limpeza de rios e reciclagem de água e, em 1992, o Japão possuía 938 estações de tratamento e usava cerca de $8{,}5 \times 10^7$ m³ de efluente de tratamento avançado, dos $1{,}09 \times 10^{10}$ m³ produzidos, sendo que todos os projetos implantados eram subsidiados pelo governo. Diferentemente de outras regiões áridas e semi-áridas do mundo, onde a irrigação agrícola e paisagística é a maior beneficiada com o reúso de água, no Japão a utilização de efluente tratado é preferencialmente feita por reúso não potável, como descarga de banheiros, uso industrial, recuperação de rios e aumento de vazão (Asano *et al.*, 1996 e Maeda *et al.*, 1996).

Nota-se que a utilização de água tratada é uma prática viável e real em diferentes atividades, no mundo, inclusive para fins potáveis, sendo assim, deve ser incentivada e praticada a fim de minimizar a exploração desordenada dos recursos hídricos, porém não deve, em qualquer situação, oferecer riscos a saúde da população.

3.1.2 – Tipos de reúso de água

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. Nesse sentido, o reúso não-potável em irrigação de cultura e irrigação paisagística tem se tornado

a prática mais comum de reúso planejado de água. A Tabelas 3.3 destaca as principais formas de reúso praticadas no mundo.

Tabela 3.3: Tipos de reúso de água.
(Crook, 1993; Souza, 1997; Metcalf e Eddy, 1993; modificado).

TIPOS DE REÚSO	APLICAÇÕES
Irrigação paisagística	parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de auto-estrada, campi 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 aqüíferos	recarga de aqüíferos potáveis, controle de intrusão marinha, controle de recalques de subsolos
Represamento	represas ornamentais, fins recreacionais e desportivos (navegação, pesca, esportes aquáticos, etc.)
Finalidades Ambientais	aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, alagados, industrias de pesca.
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 suprindo diretamente o abastecimento de água.
Usos diversos	aqüicultura, fabricação de neve artificial, construção, controles de poeira, dessedentação de animais.

A Figura 3.1 apresenta um resumo dos principais tipos de reúso.

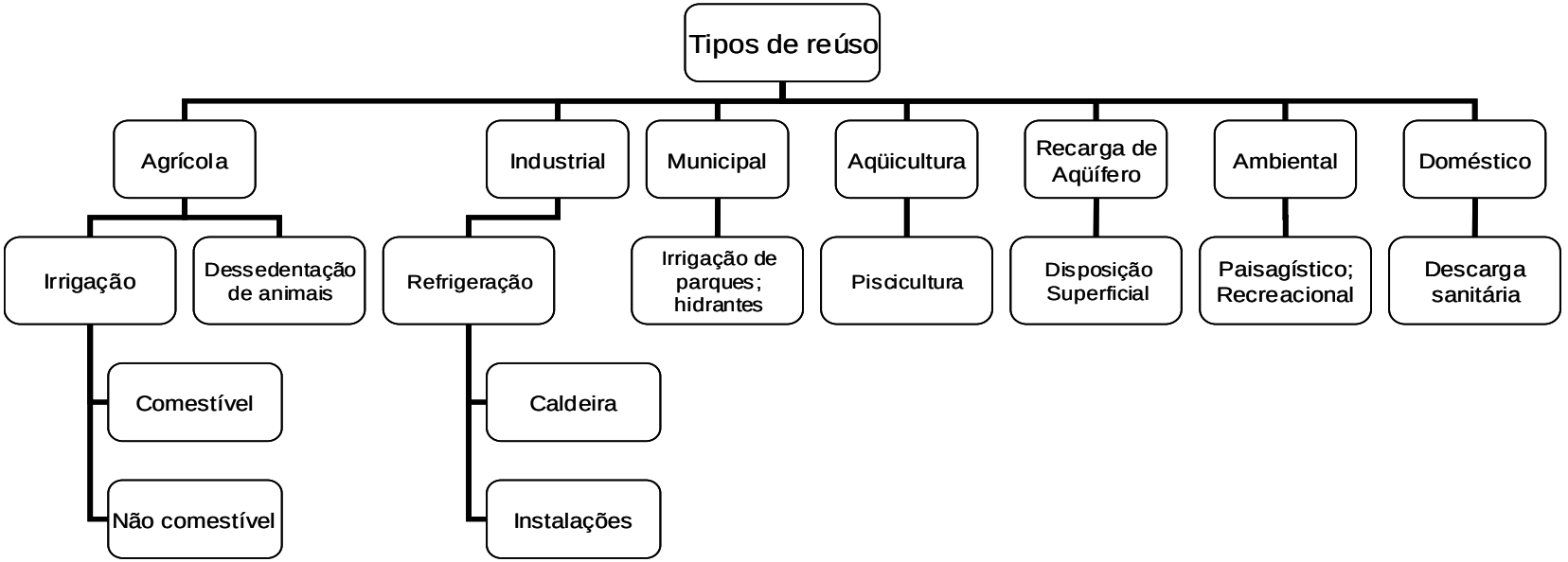


Figura 3.1: Principais tipos de reúso.
(Mota, 2003).

3.1.3 - Definições e conceitos

Ao se tratar do tema reúso de água, é indispensável estabelecer, antecipadamente, alguns termos que são bastante utilizados nesta área. Na Tabela 3.4, pode-se encontrar os de maior relevância atualmente.

Tabela 3.4: Termos relevantes em reúso de água.
(Mancuso e Santos, 2003; Metcalf e Eddy, 1991 e Metcalf e Eddy, 1993, modificado).

TERMOS	DEFINIÇÔES E CONCEITOS
Reúso de água	uso de água tratada para finalidades tais como irrigação e troca térmica em indústrias.
Reúso planejado da água	uso deliberativo, direto ou indireto, de águas residuárias recuperadas.
Reúso planejado indireto	a água tratada é descarregada de forma planejada nos corpos d'água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada.
Reúso planejado direto	a água tratada é encaminhada diretamente até o local do reúso, sendo submetidos a tratamentos adicionais, mas em momento nenhum lançada no meio ambiente.
Reúso não-planejado	a água é reutilizada uma ou mais vezes nas atividades humanas e descarregada no meio ambiente e utilizada novamente a jusante, de maneira diluída e não planejada.
Recuperação de águas	renovação da água até sua qualidade original, através de seu tratamento ou processamento.
Água residuária recuperada	água residuária recuperada aceitável para um uso direto determinado, ou para um uso devidamente controlado.
Reciclo de águas residuárias	águas residuárias que são coletadas e redirecionadas dentro do mesmo esquema de uso da água, objetivando a economia de água e o controle da poluição.
Reúso indireto de água	uso de águas de mananciais aos quais foram anteriormente lançadas águas já utilizadas.
Reúso direto de água	uso das águas residuárias recuperadas sem intervenção de descargas em corpos d'água naturais.
Reúso potável	forma de reúso que envolve o abastecimento público de água através da introdução de águas residuárias de forma direta ou não.
Reúso potável direto	forma de reúso que envolve a introdução de águas residuárias recuperadas diretamente em um sistema de abastecimento público de água.
Reúso potável indireto	reúso que envolve a introdução de águas residuárias recuperadas em um manancial de água bruta (superficial ou subterrâneo).
Reúso não potável	todo reúso que não envolve uso potável indireto ou direto.
Reúso agrícola	uso de águas residuárias recuperadas na irrigação para a agricultura de sustento ou produção de forrageiras e/ou para a dessedentação de animais.

Tabela 3.4, continuação: Termos relevantes em reúso de água.
(Mancuso e Santos, 2003; Metcalf e Eddy, 1991 e Metcalf e Eddy, 1993, modificado).

Reúso industrial	pode ser realizada de forma bastante ampla, porém os mais usados são: uso de águas residuárias recuperadas, quando esta se faz necessária, para alimentação de torres de refrigeração, caldeiras, águas de processamento, construção civil e outros fins industriais menos exigentes em qualidade da água.
Reúso recreacional e/ou público	uso de águas residuárias recuperadas para a irrigação de parques, jardins, lagos ornamentais e/ou recreacionais, postos de serviço para lavagem de veículos, paradas de ônibus, etc.
Reúso doméstico	uso de águas residuárias recuperadas para irrigação de jardins residenciais, lavagem de carros, áreas verdes e piso e para descarga de vasos sanitários. Nesse caso, fica implícita a existência de um "sistema dual" de abastecimento.
Sistema dual de abastecimento	é um sistema composto por duas redes de distribuição, uma para água potável e outra para água residuária recuperada.
Reúso para manutenção de vazões mínimas de cursos de água	uso planejado de águas residuárias recuperadas para garantir vazões mínimas para diluição de poluentes em corpos d'água receptores
Reúso em aqüicultura	uso de águas residuárias recuperadas para alimentação de tanques destinados à produção de peixes e outros organismos aquáticos.
Reúso para recarga de aqüífero	uso de águas residuárias recuperadas para suplementar o nível do aqüífero ou para evitar a intrusão da cunha salina em cidades à beira-mar.
Reúso irrestrito	uso de água residuária tratada sem qualquer restrição de uso.
Reúso restrito	mesmo após tratamento, a água residuária não pode ser utilizada sem restrição.

3.1.4 - Padrões de qualidade para reúso de água

Os fatores que afetam a qualidade da água para reúso incluem: (1) qualidade na fonte geradora; (2) processo de tratamento de água residuária; (3) confiabilidade do processo de recuperação da água; (4) projeto e operação dos sistemas de distribuição (Crook, 1993).

3.1.4.1 - Aspectos envolvidos

Na escolha dos critérios de qualidade da água para reúso, os seguintes aspectos estão envolvidos (Crook, 1993):

(1) proteção à saúde pública: a água para reúso deve ser segura para o uso pretendido. A maioria dos critérios de qualidade da água para reúso preocupa-se com a proteção à saúde

pública e, desses critérios, grande parte é baseada na segurança microbiológica ou bacteriológica.

(2) requisitos de uso: a maioria dos usos da água têm requisitos físico-químicos relacionados com a saúde da população, que limitam a aceitabilidade da água.

(3) efeitos da irrigação: se utilizar a água residuária para irrigação, então devem ser considerados os efeitos dos constituintes da água sobre as plantas cultivadas e sobre o próprio solo e aqüífero subterrâneo.

(4) considerações ecológicas: a flora e fauna naturais, dentro e no entorno da área de reúso, não podem ser afetadas adversamente.

(5) aspectos estéticos: não devem ocorrer impactos sobre a estética e a aparência produzidos pela água utilizada. Por exemplo, para irrigação urbana e para descarga em vasos sanitários, a aparência da água (cor, turbidez e odor) não deve ser diferente daquela de uma água potável. Em reservatórios, a água residuária recuperada não pode conduzir a um processo de eutrofização acelerada, com crescimento anormal de vegetação aquática (florescência de algas).

(6) percepção da população e/ou do usuário: a água para reúso deve ser psicologicamente aceita pela população para o uso pretendido, o que pode levar a critérios extremamente conservadores de qualidade da água, como garantia de redução dos riscos e de aceitabilidade da água.

(7) realidades políticas: alguns dos limites fixados para qualidade da água para reúso, muitas vezes, são fundamentados por uma conjuntura política que leva em consideração a percepção da população, aspectos culturais e econômicos.

3.1.4.2 - Padrões e orientações da OMS

Em 1973, a OMS, após uma reunião de especialistas em reúso de água, publicou um relatório em que afirmava que, para prevenção da saúde, era indispensável que não houvesse coliformes fecais em 100 mL, nem uma partícula de vírus em 1.000 mL e nem um efeito tóxico para seres humanos, visto que nessa época não se tinha segurança associada aos riscos de uso de águas residuárias à saúde humana (OMS, 1973).

Devido à reclamação de muitos especialistas da área, em 1985, patrocinada pela OMS e outras entidades internacionais, foi realizada na cidade de Engelberg, na Suíça, uma reunião de cientistas e epidemiologistas, com o objetivo de desenvolver um guia

epidemiológico mais racional para a irrigação com esgoto tratado. O resultado desta reunião foi o Relatório de Engelberg, que recomendava que o número de nematóides intestinais não deveria ultrapassar 1 ovo viável por litro, no caso de reúso na irrigação de árvores frutíferas e pastagem e, para irrigação de alimentos, campos desportivos e parques públicos, o Relatório sugeriu que o número de coliformes não excedesse a $1.000 \cdot (100\ mL)^{-1}$ de água. Confirmando esses padrões, foi publicado o Relatório de Adelboden, em 1987, cujos padrões de qualidade são mostrados na Tabela 3.5 (OMS, 1989 e Hespanhol e Prost, 1994).

A França foi, provavelmente, o primeiro país europeu a adotar as diretrizes microbiológicas da OMS para o uso de esgoto tratado na irrigação. A "*Recommendations Sanitaires Concernant pour l'Utilisation des Eaux Résiduaires Urbaines pour l'Irrigation dês Cultures et des Espaces Verts*" preparada pelo *Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France*, em março de 1991, estabeleceu três categorias para restrições sanitárias em termos de restrições de culturas, qualidade de efluente e métodos de irrigação. Um valor padrão de nematóides intestinais de $\leq 1 \cdot L^{-1}$ foi recomendado para todas as categorias de cultura, com a exceção da categoria C (irrigação localizada de culturas de cereais, industriais e cultura de forrageiras, florestas e espaços verdes não abertas ao público), de acordo com as diretrizes da OMS. Um valor padrão de 1.000 $CF \cdot (100mL)^{-1}$ foi igualmente recomendando para a irrigação de culturas consumidas cruas e, sob condições especificas, para espaços verdes abertos ao público. Nesse aspecto, o padrão proposto é um pouco menos restrito que os padrões da OMS, o qual recomenda um valor padrão de 200 $CF \cdot (100mL)^{-1}$ para irrigação de gramados públicos onde o público pode tem um contato mais direto (Hespanhol e Prost, 1994).

Tabela 3.5: Qualidade microbiológica recomendada pela OMS para uso de águas residuárias na agricultura [a]. (OMS, 1989).

CATEGORIA	CONDIÇÕES DE USO	GRUPO EXPOSTO	NEMATÓIDES INTESTINAIS [b] (MÉDIA ARITMÉTICA DO Nº DE OVOS·L^{-1}) [C]	COLIFORMES FECAIS (MÉDIA GEOMÉTRICA POR 100 mL) [c]	TRATAMENTO NECESSÁRIO PARA ATINGIR A QUALIDADE MICROBIOLÓGICA REQUERIDA.
A	Irrigação de culturas prováveis de serem consumidas cruas, campos desportivos, parques públicos [d]	Trabalhadores, consumidores e público.	≤ 1	≤ 1000	Lagoas de estabilização em série, projetadas para a qualidade microbiológica requerida ou tratamento equivalente.
B	Irrigação de culturas de cereais, culturas industriais, culturas de forrageiras, pastos, árvores [e]	Trabalhadores	< 1	Nenhum padrão é recomendado	Retenção em lagoas de estabilização de 8 a 10 dias ou remoção equivalente de helmintos e coliformes fecais.
C	Irrigação localizada de culturas na categoria B, não ocorrendo a exposição de trabalhadores e de público	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável	Pré-tratamento indicado pela tecnologia de irrigação, mas não inferior à sedimentação primária.

[a] Em casos específicos, as orientações devem ser modificadas em função de levantamentos epidemiológicos locais, fatores sócio-culturais e ambientais.
[b] Espécies de *Ascaris*, *Truchiuros* e *Anquilostomas*.
[c] Enquanto durar o período de irrigação.
[d] Para gramados públicos, onde o público pode entrar em contato direto com a água (como no caso de gramados de hotéis), recomenda-se valores mais restritos (menos de 200 coliformes fecais por 100 mL).
[e] No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes da fruta ser colhida e nenhuma fruta deve ser apanhada do chão. A irrigação por aspersão não deve ser empregada.

3.1.4.3 – Padrões norte-americanos

No começo do século XX, os Estados Unidos começaram a desenvolver programas de reúso planejado de água residuárias. Por não ter regulamentos federais que tratem da regeneração e reúso de água, cada estado possui autonomia para implementar sua própria legislação; nesse sentido, o Estado da Califórnia foi o pioneiro em promover regulamentos para recuperação e reúso de águas residuárias, sendo o primeiro regulamento promulgado em 1918. Além da Califórnia, o Estado da Florida também desenvolveu critérios destinados ao reúso potável indireto (Asano e Levine, 1996 e Crook e Surampalli, 1996).

Mais restritos que os padrões da OMS, os critérios americanos utilizam um maior número de parâmetros e no Estado da Califórnia, os coliformes fecais são substituídos pelos coliformes totais; sempre se baseando no princípio expresso no *Water Pollution Control Act – PL 92 – 500 –* "restabelecer e manter a integridade química, física e biológica das águas nacionais" (Asano e Levine, 1996).

O Estado da Califórnia, por ter uma longa história de regeneração e reúso de água, foi o primeiro estado americano a desenvolver uma legislação sobre reúso nos Estados Unidos, a qual foi se modificando e expandindo com o passar dos anos, sendo que as atuais diretrizes são apresentadas na Tabela 3.6.

Na Tabela 3.6 estão incluídas as novas propostas revistas do *Wastewater Reclamation Criteria* que são: as amostras para análise de coliformes totais devem ser no mínimo diárias e o controle desse parâmetro é baseado no valor mediano de sete dias consecutivos; turbidez e cloro residual devem ser monitorados continuamente. O regulamento proposto requer que a regeneração de água para uso recreacional sem restrição deve monitorar viroses intestinais, *Giardia* e *Cryptosporidium*, durante os primeiros dois anos de operação, caso a série de tratamento não inclua uma unidade de sedimentação entre a coagulação e o processo de filtração (Crook e Surampalli, 1996).

Tabela 3.6: Critérios[a] de tratamento e reúso não-potável de água no Estado da Califórnia. (Crook e Surampalli, 1996).

TIPO DE USO	LIMITES PARA COLIFORMES TOTAIS[b] ($NMP \cdot (100mL)^{-1}$)	TRATAMENTO REQUERIDO
Cultivo de forrageiras; plantas fibrosas; grãos e alimentos que são processados; irrigação de pomares e videiras[c]; limpeza de redes sanitárias.	Não requerido	Secundário
Pastagem para animais leiteiros; fazendas produtoras de grama; hortos com produção de plantas ornamentais; represas com objetivos paisagísticos; irrigação paisagística[d]; água de refrigeração industrial e comercial sem produção de aerossóis; água de incêndio (rede externa); compactação do solo; controle de poeira em estradas; limpeza de ruas, calçadas e outras áreas em cidades; água de serviço para produção de vapor	23	Secundário e Desinfecção
Irrigação superficial de culturas alimentícias; represas com fins recreativos restritos.	2,2	Secundário e Desinfecção
Irrigação por aspersão de culturas para alimentação[e]; irrigação paisagística[f]; represas com fins recreativos irrestritas; descargas de vasos sanitários e urinóis; água de processo industrial; fontes decorativas; lavanderias comerciais; fabricação de neve; água de incêndio (rede interna); água de refrigeração industrial e comercial com produção de aerossóis.	2,2	Secundário, Coagulação, Clarificação[g], Filtração[h] e Desinfecção

[a] Incluídas propostas de revisão.
[b] Baseada na mediana de 7 dias consecutivos.
[c] Nenhum contato entre a água recuperada e a porção comestível do fruto produzido.
[d] Cemitérios, paisagem de estradas, campos de golfe e outras áreas com restrição no momento da rega.
[e] Permitido o contato entre a água recuperada e a porção comestível do fruto produzido.
[f] Parques de lazer, parques infantis, jardins de escolas e residências, campos de golfe e outras áreas sem restrições no momento da rega.
[g] Exceto para o uso de represas recreativas sem restrições água de refrigeração quando aerossóis são formados, a coagulação não é necessária se a turbidez antes da filtração é igual a 5 uT.
[h] A turbidez do efluente filtrado não pode exceder de 2 uT média durante qualquer período de 24 horas.

Em 1989, foi adotado o Código Administrativo da Florida (*Reuse of Reclaimed Water and Land Application*) e, em 1990, revisto pelo Departamento de Regulamentação Ambiental da Flórida. Esse código determina os critérios de qualidade de tratamento, incluindo propostas de revisão para uso não potável de água recuperada que estão apresentados na Tabela 3.7. Além dos tratamentos de esgoto e da qualidade da água requerida presentes na Tabela 3.7, o código do Estado da Flórida prevê também que: (1) o tamanho mínimo para qualquer sistema de irrigação seja 380 $m^3 \cdot d^{-1}$; (2) protocolo de operação deve incluir o

continuo monitoramento de turbidez e cloro residual; (3) existência de tanque de armazenamento para no mínimo de 3 dias segundo a vazão de projeto; (4) proibição do cruzamento de tubulação de água potável com água recuperada; (5) controle rotineiro e permanente da saúde dos usuários e (6) controle de área, por meio de monitoramento de água pluvial e subterrânea (Crook e Surampalli, 1996).

Tabela 3.7: Critérios[a] de tratamento e reúso não-potável de água no Estado da Florida. (Crook e Surampalli, 1996).

TIPOS DE USO	LIMITES PARA A QUALIDADE DA ÁGUA	TRATAMENTO REQUERIDO
Áreas de acesso restrito ao público[b]; áreas industriais.	CF: 200· NMP(100mL)$^{-1}$ SST: 20 mg·L^{-1} DBO: 20 mg·L^{-1}	Secundário e Desinfecção
Áreas de acesso ao público[c]; irrigação[d] de culturas alimentícias; descargas em vasos sanitários[e]; represas recreativas[f]; água de incêndio; propósitos estéticos; controle de poeira.	CF: Não detectável . SST: 5 mg·L^{-1} DBO: 20 mg·L^{-1}	Secundário, Filtração e Desinfecção

[a] Incluídas propostas de revisão.
[b] Fazendas de grama, floresta, terra de pastagem, área de cultivo de árvores e forragem, fibra, colheitas de semente ou áreas similares.
[c] Gramados residenciais, campos de golfe, cemitérios, parques, áreas ajardinadas, entorno de estradas ou áreas similares.
[d] Somente permitido se os frutos coletados são descascados, esfolados, cozidos ou processados por operações térmicas antes do consumo.
[e] Somente permitido onde os moradores das residências não tenham acesso à inspeção do sistema, não permitindo a residência de uma única família.
[f] Para represas de contato primário a água recuperada deve ter padrão microbiológico de água potável se as concentrações dos constituintes da água for maior que 50% da concentração do reservatório.

A EPA, em conjunto com a Agência Internacional de Desenvolvimento dos Estados Unidos, publicou o *Guidelines for Water Reuse*, em 1992, o qual tem o objetivo de auxiliar agências reguladoras nos Estados Unidos, em particular as dos estados que ainda não possuem regulamentos. Esse guia, cujas diretrizes são apresentadas na Tabela 3.8, aborda os tipos de uso urbano não potável, industrial, agrícola, bem como o reúso potável indireto para recarga de águas subterrâneas e o aumento das fontes de águas superficiais de abastecimento (Crook e Surampalli, 1996).

Tabela 3.8: Critérios para reúso de água da Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA).
(Crook e Surampalli, 1996).

TIPO DE USO	TRATAMENTO	QUALIDADE DA ÁGUA RECUPERADA
Usos urbanos; irrigação de cultivos alimentares comidos crus; represas recreativas	Secundário, Filtração e Desinfecção	pH = 6,9 ≤ 10 mg·L^{-1} de DBO ≤ 2 uT[a] CF: não detectável[b] 1 mg·L^{-1} $\leq$ Cloro residual[c]
Irrigação em áreas de acesso restrito e cultivos alimentares processados; reservatórios estéticos; uso em construções; refrigeração industrial[d]; irrigação paisagística.	Secundário e Desinfecção	pH = 6,9 ≤ 30 mg·L^{-1} de DBO ≤ 30 mg·L^{-1} de SST $\leq$ 200 NMP·(100mL)$^{-1}$ de CF[e] 1 mg·L^{-1} $\leq$ Cloro residual[c]
Recarga de águas subterrâneas por infiltração (aqüífero de uso não potável)	Lugares específicos e dependente do uso, Primário (no mínimo)	Lugares específicos e dependente do uso
Recarga de águas subterrâneas por injeção (aqüífero de uso não potável)	Lugares específicos e dependente do uso, Secundário (no mínimo)	Lugares específicos e dependente do uso
Recarga de águas subterrâneas por infiltração (aqüífero de uso potável)	Lugares específicos, Secundário e Desinfecção (no mínimo)	Lugares específicos e padrão de qualidade de água potável na zona não saturada depois da percolação
Recarga de águas subterrâneas por injeção (aqüífero de uso potável)	Inclui-se o seguinte: Secundário, Filtração, Desinfecção e Tratamento Avançado de Água residuária	Inclui-se o seguinte: pH = 6,5 – 8,5 ≤ 2 uT[a] CF: não detectável[b] 1 mg·L^{-1} $\leq$ Cloro residual[c] Padrão de água potável

[a] Valor médio de 24 horas. Não deverá exceder 5 uT. Deve ser primeiramente desinfetado.
[b] Baseado no valor mediano de 7 dias. Nenhuma amostra deverá exceder a 14 NMP·(100 mL)$^{-1}$ de CF.
[c] Depois do tempo de contato mínimo de 30 minutos.
[d] Recirculação em torres de refrigeração.
[e] Baseado no valor mediano de 7 dias. Nenhuma amostra deverá exceder a 800 NMP·(100 mL)$^{-1}$ de CF.

Diferentemente do Estado da Califórnia, os padrões da EPA que são utilizados, em relação aos indicadores microbiológicos, são os coliformes fecais e nesse mesmo guia não há referências a controles de vírus.

Os padrões de qualidade de reúso de água americano são bem mais restritos quando comparados aos propostos pela OMS. Isso se deve ao fato dos padrões americanos se

basear na situação de “risco zero”, enquanto que os propostos pela OMS levam-se em consideração as condições locais e a finalidade a que o reúso de água se refere.

3.2 – PISCICULTURA E REÚSO DE ÁGUA EM PISCICULTURA

Criar peixes é uma atividade muito antiga. Desde 2000 a.C. já se têm registros referentes à criação de tilápias em piscinas de nobres egípcios (Yancey e Menezes, 1985).

No Quênia, o cultivo de tilápia se iniciou em 1924, e em seguida no Congo, em 1937. Na década de 50, com o desenvolvimento de pesquisas, a tilapicultura demonstrou ser um dos melhores negócios para piscicultores e uma nova fonte para obtenção de proteínas. Além disto, a tilápia tem qualidades que a tornam um dos peixes com maior potencial para piscicultura (Lima, 1996), dentre as quais pode-se destacar o fato de ser uma espécie bem conhecida, ter alto valor comercial e grande aceitação no mercado.

3.2.1 - Objetivos, vantagens e problemas da piscicultura

A piscicultura pode ser utilizada com vários objetivos: (a) comercial – quando se deseja obter lucro com a criação; (b) social – nesse caso o objetivo da produção de peixes é alimentar as populações, sem fins lucrativos; (c) sanitários – quando se pretende eliminar insetos, vegetação daninha, poluição; (d) recreativa – para pesca esportiva (Yancey e Menezes, 1985).

Pode-se utilizar a piscicultura na união de dois ou mais objetivos. Hoje, por exemplo, é comum utilizar a piscicultura para fins sociais juntamente com a finalidade sanitária, que é o caso desta pesquisa e, eventualmente, recreativa.

Com a prática da piscicultura, pode-se obter carnes de elevado valor protéico. Quando comparado à atividades similares, a piscicultura apresenta custos de produção menores, proporcionando grandes produções em áreas relativamente pequenas, onde os tanques de cultivo podem ser instalados em áreas até então improdutivas, além de serem usados como forma de lazer – pesca esportiva. (Yancey e Menezes, 1985).

Contudo, a piscicultura é um ramo que exige muita água, quando se compara com outras culturas. O volume de água necessário depende do tipo de solo, da construção dos tanques ou viveiros, das condições climáticas e, principalmente, do sistema de criação e manejo. De maneira geral, estima-se algo em torno de 10 $L \cdot s^{-1} \cdot ha$ para solos argilo-arenoso (Bastos *et al.*, 2003[a]). Nesse sentido, a utilização de águas residuárias tratadas se torna uma alternativa possível.

3.2.2 - Critérios de qualidade de água para reúso em aqüicultura

Devido à falta de estudos a respeito dos efeitos do reúso de água em piscicultura para a saúde da população, a OMS não estabelece padrões definitivos de qualidade bacteriológica para esta aplicação.

De acordo com pesquisas realizadas por Moscoso e Muñoz (1991) e Moscoso (1998), concentrações de coliformes fecais de 10^5 por 100 mL, no afluente do tanque de piscicultura, não oferecem riscos à saúde dos peixes e nem riscos potenciais à saúde humana pelo consumo do pescado. Esse valor é uma ordem de magnitude acima do recomendando pela OMS ($10^4 \cdot (100\ mL)^{-1}$). Essa aparente discordância entre os valores se deve por se ter verificado uma redução de 1 unidade logarítmica quando se transfere a água das lagoas de estabilização para os tanques de peixes (essa observação foi feita usando-se tanques de cultivo com alimentação intermitente em sistema de batelada).

Segundo Stratuss *apud* Leon e Moscoso (1996), a possibilidade de contaminação dos músculos dos peixes se dá quando os peixes estão sendo cultivados em tanques com coliformes fecais e salmonelas superiores a 10^4 e 10^5 por 100mL, respectivamente, sendo que, quanto maior for o tempo de contato dos peixes com a água contaminada, maior a contaminação, contudo, com concentrações de coliformes fecais na água inferiores a 1.000 $CF \cdot (100mL)^{-1}$, a possibilidade de acumulo de organismos entéricos e agentes patogênicos no interior do tecido comestível do peixe é pouca, segundo os mesmos autores.

A Tabela 3.9 exibe os valores de qualidade microbiológica no reúso em aqüicultura recomendados pelo Relatório de Engelberg (Mara e Cairncross, 1989).

Tabela 3.9: Critérios de qualidade microbiológica para reúso em aqüicultura. (Mara e Cairncross, 1989).

TIPOS DE PROCESSO DE REÚSO	OVOS [(a)] VIÁVEIS DE TREMATÓDEOS (MÉDIA ARITMÉTICA DO Nº DE OVOS VIÁVEIS POR L OU Kg)	COLIFORMES FECAIS (MÉDIA GEOMÉTRICA DO NMP·(100 mL)$^{-1}$ OU 100g)[(b)]
Cultivo de peixes	0	$< 10^4$
Cultivo de macrófita aquática	0	$< 10^4$

[a] *Clonorchis*, *Fascilopsis* e *Schistosoma*. Especial atenção deve ser dado a esses parasitas, principalmente em áreas consideradas endêmicas.

[b] Esta diretriz assume que na lagoa piscícolas haverá a redução de uma unidade logarítmica de CF, significando que na saída do sistema haverá CF < 1000 NMP·(100 mL)$^{-1}$. Em caso de sistemas operando em climas quentes e com tempo de retenção elevado o valor, aqui proposto, pode ser maior.

A utilização de Coliformes Fecais como indicadores para a invasão de músculos de peixes tem sido questionada por alguns autores, que afirmam que esse indicador não é, nas condições propostas, adequadamente detectado. Assim, foi proposta 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 (Buras *et al.*, 1987). Com base em estudos, foram propostos os padrões bacteriológicos apresentados no Tabela 3.10.

Tabela 3.10: Qualidade bacteriológica de peixes em função da contagem total de bactérias. (Buras *et al.*, 1987).

BACTÉRIAS AERÓBIAS TOTAIS EM MÚSCULOS DE PEIXES (bacteria·g^{-1})	QUALIDADE DOS PEIXES
0 – 10	Muito boa
10 – 30	Média
> 50	Inaceitável

3.2.2.1 – Padrões brasileiros de reúso de água em piscicultura

No Brasil, por ainda estar se iniciando à prática de uso de esgotos tratados em aqüicultura, há a necessidade de realizar estudos epidemiológicos para o estabelecimento de padrões de qualidade das águas de alimentação, tanto de sistemas diretos como os indiretos. Enquanto esses estudos não são realizados, sugere-se seguir as diretrizes recomendadas pela OMS, abaixo relacionadas, independentemente do sistema empregado (CNRH, 2003):

(a) média geométrica inferior a 10^3 coliformes fecais por 100 mL nas lagoas, essa

concentração que pode ser obtida abastecendo-se as lagoas com esgotos tratados com concentrações máximas de 10^4 coliformes fecais por 100mL;
(b) ausência total de ovos de trematodos, particularmente os associados à transmissão da esquitossomose.

3.2.3 – Reúso de água em piscicultura no mundo

O uso de águas residuárias para fertilização de tanques de piscicultura se iniciou na Alemanha, no final do século XIX e em 1930, em Calcutá, Índia (Moscoso e Muñoz, 1991).

3.2.3.1 - Calcutá, Índia.

O uso de águas residuárias para criação de peixes em Calcutá é o maior sistema de aqüicultura no mundo. Os sítios recebem água residuária *in natura* de Calcutá. O manejo do sistema é de policultivo formado por várias espécies de carpa (comum, *catla*, *mrigal*, *rohu*) e tilápia, com peso individual entre 20 e 30 g, densidade total de 3,5 peixes·$(m^2)^{-1}$ e uma biomassa inicial de 900 Kg·ha^{-1}, com produção total variando entre 0,65 t·ha^{-1}·ano em 1948 até 4 a 9 t·ha^{-1}·ano em 1984 (Edwards, 1992).

Segundo Strauss e Blumenthal (1990), o nível de coliformes fecais afluentes aos tanques piscícolas de Calcutá é de 10^5-10^6·$(100\ mL)^{-1}$ e nos tanques de 10^2-10^3·$(100\ mL)^{-1}$. Nos peixes criados nas lagoas alimentadas com esse afluente foram encontrados o *Vibrio parahaemolyticus,* o segundo agente mais importante relacionado com enfermidade diarréica em Calcutá. É possível também que protozoários, tais como *Giardia* e *Cryptosporidium*, se encontrem na superfície das lagoas e constituam um risco.

Percebe-se que os níveis de coliformes fecais afluentes aos tanques piscícolas em Calcutá estão acima dos padrões sugeridos pela OMS, o que torna indispensável o desenvolvimento de pesquisas mais detalhadas para verificar a confiabilidade de se trabalhar com esses valores, de modo que não ofereçam qualquer risco à saúde da população.

3.2.3.2 - Peru

Segundo Moscoso (2002), o tratamento e uso de águas residuárias se iniciou no Peru na década de 60 com a implantação das lagoas de estabilização de San Juan, em Lima. Esse sistema, considerado como a opção tecnológica mais viável para alcançar o objetivo de "patógeno zero" é aplicada em 78% dos projetos existentes no país. Entretanto, a cobertura de tratamento só atinge a 17,6% das águas residuárias geradas, pois a crise econômica é a grande limitação aos investimentos nesta área.

Segundo Leon e Moscoso (1996) e Moscoso (2002), a piscicultura tem se apresentado como uma nova proposta dentro das atividades de reúso de águas. Nesse sentido, o Centro Panamericado de Ingenieria Sanitária y Ciências del Ambiente (CEPIS) e a Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) executaram, no período de 1983 a 1984 e de 1988 a 1990, o Projeto de Reúso em Aqüicultura das Águas Residuárias Tratadas em Lagoas de Estabilização de San Juan de Miraflores, no qual as águas residuárias eram tratadas em lagoas de estabilização até alcançarem a qualidade apropriada para obter uma elevada produção de peixes apta para o consumo humano direto.

No período de junho de 1983 a abril de 1984, desenvolveu-se a primeira fase do projeto. Nesse período, utilizaram-se as lagoas terciárias, quaternárias e pentárias para o cultivo das espécies de peixe tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e carpa comum (*Ciprynus carpio*) e do crustáceo camarão da Malásia. Foram avaliados a sobrevivência e crescimento dos peixes e camarão, além do monitoramento das principais características físico-químicas e microbiológicas das águas do sistema. Foi efetuado também um estudo preliminar da qualidade sanitária e parâmetros zootécnicos dos peixes e camarão (Moscoso, 1998).

Segundo Moscoso (1998), o resultado da primeira fase de experimento permitiu definir: (1) 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; (2) que a tilápia foi a espécie que melhor se adequou ao experimento, sendo assim, foi a espécie selecionada para os experimentos seguintes; (3) as análises microbiológicas, parasitológicas e toxicológicas preliminares mostraram que não existe impedimento para destinar os peixes ao consumo humano direto; e (4) a criação de peixes

diretamente nas lagoas de estabilização não é prática adequada para o cultivo, pois para a despesca final dos peixes é necessário drenar totalmente as lagoas, diminuindo temporariamente sua capacidade de tratamento.

Na segunda fase do projeto, em San Juan de Miraflores, quatro experimentos consecutivos de 154 e 112 dias foram realizados nas estações de inverno e verão, respectivamente (Moscoso, 1998).

Esses experimentos foram executados na unidade de aqüicultura construída dentro do Complexo de Lagoas de Estabilização de San Juan que era constituído por 12 tanques experimentais de 370 m² de espelho d'água cada um, construídos sobre solo arenoso e impermeabilizados com argila, seis tanques de criação (100 m² cada um) e um laboratório com tanques de concreto para a produção e reversão sexual de alevinos. Os tanques eram alimentados pelo efluente terciário das lagoas de estabilização, o qual seria o mais adequado para o reúso direto em piscicultura, do ponto de vista sanitário dos peixes produzidos (Moscoso *et al.*, 1992[b]).

Tilápias do Nilo foram estocadas com peso médio inicial entre 13 e 77g. Nos últimos experimentos, os peixes receberam alimentação suplementar (Moscoso, 1998). A Tabela 3.11 descreve as características de cada um dos experimentos realizados.

Tabela 3.11: Características dos experimentos realizados na segunda fase do projeto. (Moscoso *et al.*, 1992[a]; modificado).

EXPERIMENTO	PERÍODO	DENSIDADE DE ESTOCAGEM (peixe·(m²)$^{-1}$)	OBJETIVO
1	Inverno 04.07.88 a 05.12.88	0,2 1,1 2,2 3,2	Definir a taxa de crescimento de tilápia do Nilo, no inverno e a relação com a densidade de estocagem inicial.
2	Verão 09.01.89 a 01.05.89	0,2 1 3 5	Reduzir o tempo de retenção total, melhorar a produtividade quando comparado ao experimento anterior.
3	Inverno 05.06.89 a 06.11.89	Semelhante ao experimento 1	Avaliar o efeito das estações climáticas na performance dos peixes.
4	Verão 18.12.89 a 09.04.90	0,2 1 1,5	Avaliar o efeito das estações climáticas na performance dos peixes.

Segundo León e Moscoso (1995 e 1996), mais de 60 parâmetros físico-químicos e bacteriológicos foram avaliados diariamente e semanalmente no sistema de tratamento, tanques de cultivo, lodo e peixes durante os quatro experimentos. Entre os parâmetros sanitários incluiram-se: bactérias totais, coliformes fecais e totais, *Salmonella*, Clostridium sulfito redutor, bacteriofagos de *E. Coli*, enteroparasitas, vírus da hepatite B, metais pesados, pesticidas e bifenilos policlorados. Além disso, foram avaliados a taxa de sobrevivência (%), taxa de crescimento ($cm \cdot d^{-1}$ ou $g \cdot d^{-1}$), produtividade aquícola ($Kg \cdot ha^{-1} \cdot d$) e outros parâmetros, com o objetivo de avaliar o desenvolvimento do cultivo. Não foram detectado a presença de bactérias e vírus patogênicos nos peixes cultivados em águas tratadas com níveis inferiores a 10^4 Coliformes Fecais$\cdot(100\ mL)^{-1}$ (Moscoso, 1998 e 2002).

Segundo Moscoso *et al.* (1992[a]) e Moscoso (1998), em três experimentos, 1, 2 e 4, 100% dos peixes foram considerados de qualidade boa, segundo a classificação de Buras *et al.* (1987), Tabela 3.10. No experimento 3 apenas 6% dos peixes foram considerados inaceitáveis, essa situação foi motivada por um incremento deliberativo dos níveis de coliformes fecais, que se sobrepôs a $10^5 \cdot (100\ mL)^{-1}$ no efluente. Contudo, a permanência desses peixes por no mínimo 30 dias em tanques de autodepuração reduziu esses níveis de coliformes (Moscoso, 1998). Não foram detectadas as presenças de *Salmonella sp* em nem uma das amostras de peixes analisadas (Moscoso *et al.*, 1992[a]).

Na pesquisa também foram abordados os aspectos socioeconômicos e culturais relacionados ao reúso direto de água em piscicultura (Moscoso *et al.*, 1992[c]).

Na terceira fase do experimento, a Unidade de Aqüicultura em San Juan foi ampliada para se constituir uma Unidade Demonstrativa e assegurar seu autofinanciamento. Para tanto, foram incorporarados três tanques de produção de 12.000 (lagoa terciária), 11.000 e 15.000 m^2, o que permitiu aos tanques menores manter e avaliar novas variedades de tilápia (Moscoso, 1998).

Com o propósito de melhorar a produção e comparar a produtividade, foram importadas e cultivadas as tilápias vermelhas e prateadas do Panamá e tilápias prateadas de San Juan. Os resultados dessa fase permitiu concluir que as tilápias vermelhas crescem menos quando

comparadas às prateadas e que as espécies do Panamá apresentam melhor desempenho que as espécies de San Juan (Moscoso, 1998).

De posse dos resultados do segundo experimento, foi possível desenvolver um modelo computacional para elaborar perfis de projetos sobre sistemas integrados de lagoas de estabilização e granjas de tilápia em zonas subtropicais e tropicais. Com o programa, foi possível avaliar que nas zonas tropicais, devido a elevadas temperaturas, é possível reduzir o tempo de cria para sete meses, obtendo três campanhas por ano (Moscoso, 1998).

Para Moscoso (1998), deve-se continuar desenvolvendo projetos para otimizar os sistemas de cultivo de peixes com águas residuárias tratadas, principalmente em lugares com climas tropicais.

3.2.3.3 – Egito.

Segundo El-Gohary *et al.* (1995), um modelo contínuo em escala laboratorial, simulando um sistema de lagoa de oxidação, foi utilizado para avaliar a tratabilidade do esgoto municipal e a utilização do efluente tratado na aqüicultura.

A lagoa de peixes foi colonizada com 20 carpas prateadas (*Hipophthalmichthys molitrix*) e 20 tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*). A carpa prateada foi estocada com 9,5 gramas cada e densidade de estocagem de 380 $g \cdot (m^2)^{-1}$ (950 $g \cdot (m^3)^{-1}$); contudo, com sintomas de estress, a mortandade foi de 100% após 9 dias. A tilápia do Nilo foi estocada com 6,05 gramas, densidade de 242 $g \cdot (m^2)^{-1}$ (605 $g \cdot (m^3)^{-1}$) e, após 92 dias, atingiu uma produtividade de 71,5 $Kg \cdot ha^{-1} \cdot d$ (El-Gohary *et al.*, 1995).

Shereif *et al.* (1995) descrevem a Estação Experimental de Suez (EES) como uma unidade de demonstração composta por dois sistemas de tratamento de água em paralelo, com vazão máxima de 400 $m^3 \cdot d^{-1}$. O primeiro módulo opera com uma vazão de 150 $m^3 \cdot d^{-1}$ e é composto por lagoas de estabilização em série; o outro modulo é composto por quatro lagoas rasas em serie chamadas de lagoas de plâncton e opera com vazão de 250 $m^3 \cdot d^{-1}$. O efluente final dos dois módulos é usado na irrigação. Os peixes cultivados nesse experimento foram a tilápia do Nilo e o *grey mullet*. Apesar de não haver menção no trabalho sobre a quantidade de biomassa estocada, reporta-se que a produção de peixe

alcançada sem suplemento alimentar ou na lagoa de aeração foi de 5-7 tons·ha^{-1}·ano (El-S Easa *et al.*, 1995).

3.2.3.4 – Brasil.

Em 1984, foi desenvolvida na cidade de Itirapina, SP, uma pesquisa utilizando excremento de suínos na criação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em lagoas facultativas e de maturação. Esse trabalho teve como principais objetivos estudar o comportamento biológico da tilápia do Nilo em ambientes altamente seletivos de lagoas de estabilização e avaliar a influência desse peixe no processo de tratamento biológico de resíduos orgânicos (Matheus, 1984 e 1985).

No trabalho desenvolvido por Matheus (1984), utilizaram-se três modelos de lagoa de estabilização, construídos de alvenaria, sendo dois deles exatamente iguais, com 3 metros de diâmetro por 1 metro de profundidade, sendo que ambos funcionavam como lagoas facultativas (F1 e F2). A terceira lagoa diferia das outras no diâmetro, 5 vezes maior, e estava conectada em série com a lagoa facultativa 2 (F2), funcionando, assim, como lagoa de maturação, recebendo um efluente já clarificado. Todas as lagoas estavam enterradas 80 cm do solo e tinham uma borda protetora de 20 cm. A saída, no nível do solo, mantinha uma coluna d'água constante de 80 cm, perfazendo um volume aproximado de 5.650 litros nas lagoas facultativas e 15.700 litros na lagoa de maturação (Matheus, 1984).

As lagoas F1 e F2 recebiam diretamente 200 litros de resíduos (fezes de suínos diluídas) com a concentração de matéria orgânica similar a de um esgoto doméstico, ou seja, contendo uma suspensão de aproximadamente 200 – 300 mg·L^{-1} de DBO (Matheus, 1984).

Segundo Matheus (1984), utilizaram-se fezes de suíno como material estabilizado devido: (1) à dificuldade de se obter esgoto doméstico na região; (2) à diminuição dos riscos de contaminação por patógenos de origem fecal; (3) à facilidade em poder criar porco no local; (4) à 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 resíduo, após passar por correção para se obter concentração semelhante à de um esgoto doméstico perfeitamente tratável por processo de lagoas de estabilização, foi caracterizado através das analises de DBO, DQO, nitrogênio total, nitrogênio orgânico, nitrogênio

amoniacal, fósforo total, sólidos sedimentáveis, sólidos totais (suspensos) e sólidos fixos e voláteis (suspensos) (Matheus, 1984).

Segundo Matheus (1984), tanto na lagoa F2 quanto na de maturação foram estocados exemplares de tilápia do Nilo em um densidade de 10 peixes$(m^2)^{-1}$, com comprimento variando entre 4 e 6 cm. A lagoa F1 não recebeu peixes, o que possibilitou obter informações a respeito da influência dos peixes no tratamento biológico, quando comparado a lagoa F2.

O trabalho se desenvolveu no período de julho de 1982 a junho de 1983 e foram coletadas para estudo amostras das variáveis ambientais e hidrológicas e biológicas e sobre a biologia dos peixes nas lagoas de estabilização, completando um ciclo sazonal (Matheus, 1984). A coleta de dados para análises foi realizada de acordo com a Tabela 3.12.

Tabela 3.12: Freqüência da coleta de dados para análises.

PARÂMETRO	FREQUENCIA
Temperatura da água (superfície e fundo)	Três vezes por semana – manhã e tarde
pH (superfície e fundo)	Três vezes por semana – manhã e tarde
Oxigênio dissolvido (superfície e fundo)	Três vezes por semana – manhã e tarde
Transparência (disco de Secchi)	Três vezes por semana – manhã e tarde
Temperaturas máximas e mínimas	Diariamente – manhã
DBO	Quinzenalmente
DQO	Quinzenalmente
Clorofila-a	Quinzenalmente
Nitrogênio	Quinzenalmente
Fósforo	Quinzenalmente
Sólidos	Quinzenalmente
Fitoplâncton	Quinzenalmente
Peixes	Mensalmente
Lodo	Final do experimento

Apenas no primeiro mês de trabalhos experimentais, as amostras de pH, temperatura da água, oxigênio dissolvido e transparência foram realizadas diariamente. Após constatada a estabilidade das lagoas, as coletas passaram a ser realizadas de 2 a 3 vezes por semana, para essas variáveis. Também foram efetuadas mensalmente medidas para estabelecer a variação de oxigênio dissolvido e pH em um período de 24 horas, utilizando-se intervalos de 3 horas entre cada coleta e verificou-se que o padrão de flutuação dessas variáveis

sempre se mantinha constante, não havendo diferenças significativas no decorrer dos meses (Matheus, 1984).

As coletas foram realizadas com o auxílio de malha fina e os indivíduos capturados representavam 10% da população. Os exemplares coletados eram transportados para o laboratório em frascos de polietileno, tomando-se o cuidado de mantê-los vivos, pois além dos dados de proporção corporal, uma subamostra era sacrificada para se proceder as análises das gônadas e o restante, após pesados e medidos, eram devolvidos ao ambiente de origem. Para cada exemplar, foram considerados os seguintes caracteres: (a) comprimento total, em cm (Lt): medida horizontal da ponta do focinho até a ponta da cauda; (b) peso total, em g (Wt); (c) sexo; (d) peso da gôna, em g; e (e) estágios macroscópicos de maturação (Matheus, 1984).

Segundo Matheus (1984), a tilápia do Nilo apresentou um crescimento mais acentuado na lagoa facultativa, presumivelmente porque nessa lagoa houve maior quantidade de alimento disponível na forma de fitoplâncton, além de matéria orgânica do resíduo bruto. Segundo o autor, a lagoa F2 (com peixes), foi mais estável, não apresentando os desequilíbrios que ocorreram muitas vezes na lagoa F1 (sem peixes), como “bloom” de microcrustáceos, subida de material bentônico para a superfície, anaerobiose total em certos períodos em plena luz do dia e outros sintomas de mau funcionamento. Além disso, para a média de remoção de DBO e outros parâmetros não houve, aparentemente, diferenças significativas entre as lagoas facultativas, F1 e F2, embora as observações e análises detalhadas dos dados em conjunto revelem um melhor funcionamento da lagoa que continha peixes (Matheus, 1984).

Segundo Matheus (1984), concorreram para a instalação e manutenção de um ambiente mais estabilizado o fato de os peixes: (1) impedirem, através do efeito “grazing”, o crescimento excessivo do fitoplâncton, como conseqüência de tal crescimento, há também a morte em massa desses microorganismos, causando elevada DBO na coluna d’agua; (2) controlarem a população de zooplancton, principalmente os microcrustáceos e manterem-se em números compatíveis com o bom desempenho da lagoa; (3) promoverem a circulação e mistura desejável da água, através de sua movimentação e hábitos de agitar o sedimento; (4) evitarem 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; (5) alimentarem-se da própria matéria orgânica bruta do afluente, evitando o acumulo excessivo de lodo no sedimento e diminuindo assim a carga orgânica efetiva de entrada; e (6) alimentarem-se de detritos depositados no sedimento, auxiliando a instalação e manutenção de um ambiente mais estável e homogêneo.

Além disso, ficou demonstrado o alto poder de adaptação da tilápia do Nilo e sua viabilidade em ambientes de lagoas de estabilização, bem como ficou revelado o importante papel desse peixe como condicionador do funcionamento da lagoa, concorrendo para o melhor desempenho e maior estabilidade do sistema (Matheus, 1985).

Dando continuidade ao estudo, em 1993, Matheus (1993), utilizou efluentes de processamento de frutas cítricas para a criação de tilápia do Nilo, carpa prateada e carpa comum. O trabalho foi desenvolvido na unidade da Citrosuco, cidade de Matão, SP, que utilizava o sistema de lagoa de estabilização com 7 lagoas em série, com grande volume de retenção, para tratar o efluente.

O trabalho teve como objetivos: (1) produzir peixes a partir de águas residuárias da indústria de derivados cítricos, sem alimentação suplementar; (2) estabelecer o rendimento total ($Kg \cdot (ha \cdot 6\ meses)^{-1}$) das espécies individuais no sistema de policultivo; (3) verificar a possibilidade de melhoria da qualidade da água pela influência dos peixes; (4) estudar os principais mecanismos e processos limnológicos nos tanques de peixes com bases quantitativas; e (5) procurar detectar as inter-relações desses processos com as espécies de peixes presentes (Matheus, 1993 e Matheus *et al.*, 1998).

A pesquisa teve duração de 2 anos consecutivos, 1990 e 1991, o que corresponde a 2 safras de 6 meses cada. O experimento contou com 5 tanques em paralelo, todos com a mesma geometria, 12 metros de comprimento, 10 metros de largura e profundidade de 1,2 metros, com volume total de 100.000 litros. Os tanques estavam assim divididos: 1 tanque era controle, no segundo tanque eram cultivadas tilápias do Nilo, carpas prateadas eram cultivadas no terceiro tanque, no quarto tanque havia espécies de carpa comum e no quinto tanque se praticava o sistema de policultivo, sendo a densidade de estocagem utilizada nos quatro tanques de 2 $peixes \cdot (m^2)^{-1}$, com período de 6 meses (Matheus, 1993 e Matheus *et al.*, 1998).

A Tabela 3.13 apresenta as análises e exames realizados no sistema experimental de tanques de peixes e a respectivas freqüências.

Tabela 3.13: Análises e exames realizados no sistema experimental de tanques de peixes e respectivas freqüências.

PARÂMETROS	FREQUÊNCIA
DQO bruta e filtrada	Semanalmente
Temperatura da água (superfície e fundo)	Manhã e tarde - semanalmente
PH (superfície e fundo)	Manhã e tarde - semanalmente
Oxigênio dissolvido (superfície e fundo)	Manhã e tarde - semanalmente
Alcalinidade (superfície)	Manhã – semanalmente
Condutividade (superficie)	Manhã – semanalmente
Transparência da água (disco de Secchi)	Semanalmente
Dureza da água	Semanalmente
Nitrogênio Total	Quinzenalmente
Fósforo Total	Quinzenalmente
Nutrientes inorgânicos (NH_4^+; NO_2^-; NO_3^- e PO_4^{3-})	Quinzenalmente
Clorofila – a	Quinzenalmente
Exames qualitativos e quantitativos (fito e zooplâncton)	Quinzenalmente
Metais pesados	Esporadicamente
Analises biológicas referentes aos peixes	Mensalmente

Ao final da pesquisa, Matheus (1993) e Matheus *et al.* (1998) concluiram que:

1) É viável o cultivo de peixes a partir de água residuária da industria de processamento de frutas cítricas, além de promover o melhoramento significativo na qualidade do efluente;
2) Os tanques de monocultura de tilápia do Nilo e policultivo apresentaram os níveis de oxigênio dissolvido mais elevados, com valores normalmente acima dos limites de tolerância das espécies estudadas e menores valores das concentrações de nitrogênio e fósforo, além do que, esses sistemas apresentaram menores flutuações das variáveis ambientais, demonstrando uma maior estabilidade, condição que não ocorreu nos outros tanques, principalmente no controle (sem peixes), onde a água apresentou características mais indesejáveis;
3) O sistema de policultivo apresentou as menores concentrações de DQO solúvel, revelando uma maior remoção da matéria orgânica.
4) Os maiores rendimentos foram obtidos no sistema de policultivo, sendo a carpa prateada com maior potencial de crescimento no ambiente estudado. Os menores rendimentos foram verificados para a carpa comum, enquanto a tilápia do Nilo apresentou uma situação intermediária.

5) A porcentagem de sobrevivência da tilápia do Nilo foi superior à das duas espécies.
6) Nos sistemas de monocultivo, as carpas (comum e prateada) apresentaram mortandade total de indivíduos nas duas safras estudadas, demonstrando serem inviáveis se forem mantidas as mesmas condições de operação utilizadas.

Segundo Azevedo *et al.* (1993), a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) desenvolveu, durante 9 meses, a criação de tilápia diretamente dentro de uma lagoa facultativa da Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico da cidade turística de Termas de Ibirá. O volume médio e vazão da lagoa são, respectivamente, 7.244,64 m^3 e 150 $m^3 \cdot d^{-1}$. No experimento, foram estocados 700 exemplares de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com comprimento de 5 e 25 cm, sendo que os peixes de 25 cm eram fêmeas e no momento inicial do peixamento estavam na fase de desova. Foi computada a morte de 70 peixes ao longo do trabalho, causado por ferimento no transporte e por aves predadoras que sobrevoavam o local. Os autores concluíram, ao final do estudo: (1) ser possível a utilização de tecnologia de baixo custo em beneficio da melhoria do ecossistema e a produção de proteína a partir de esgoto, para ser usada como alimento animal; (2) observou-se uma melhora na remoção da matéria orgânica, visto que, sem peixes, a remoção de DBO_5 era de 70,9% e enquanto que com peixes, esta remoção passou para 84% e a de DQO de 59,6% para 74%; e (3) as concentrações de pesticidas, metais pesados e bactérias patogênicas estiveram abaixo do limite estipulado.

Hortegal Filha *et al.* (1999) desenvolveram, no Sistema de Lagoa de Estabilização em Série do Distrito Industrial (SIDI) de Maracaúna, Ceará, uma pesquisa utilizando lagoa de maturação para a prática de piscicultura. O sistema trata cerca de 45.461 $m^3 \cdot d^{-1}$ de águas residuárias industriais (56 indústrias) e domésticas (7 conjuntos habitacionais) e é formado por uma lagoa anaeróbia (LA), seguida por uma lagoa facultativa secundária (LFS) e por três lagoas de maturação de igual dimensões – primária (LMP), secundária (LMS) e terciária (LMT), as quais foram objetos de estudo, sendo que somente as lagoas LMS e LMT possuíam peixes, estocados anteriormente ao desenvolvimento do trabalho, sem qualquer controle.

Segundo os autores, para o monitoramento da qualidade da água das LMP, LMS e LMT foram feitos dois tipos de coletas, do efluente e da coluna líquida, amostradas na saída de cada reator, próximo aos seus vertedores. As variáveis físico-químicas e microbiológicas

determinadas foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, clorofila-a, sólidos suspensos, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio amoniacal, fósforo total e coliformes fecais. A identificação da ictiofauna presente na LMS e LMT foi feito a partir da divisão das mesmas em seis quadrantes, nos quais foram realizadas pescarias artesanais, usando rede de cobrir (tarrafas). De cada quadrante, foi retirado um número razoável de peixes, os quais foram submetidos à identificação e determinação biométrica, através dos pesos e dos comprimentos, sendo a identificação feita pelo nome vulgar com auxílio de pescadores. Ao final, foram realizadas análises de coliformes fecais na pele, músculo e vísceras dos peixes.

Na avaliação de Hortegal Filha *et al.* (1999), a única espécie encontrada foi a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e a qualidade da água das lagoas de maturação está de acordo com o que estabelece a OMS para a prática de piscicultura ($CF \leq 1000 \cdot (100mL)^{-1}$). Confirmou-se ainda que os valores das variáveis físico-químicas e microbiológicas permitem a sobrevivência da população de peixes, mesmo que o meio aquático seja considerado hipertrófico e que não se tenha estimativa precisa do tamanho dos indivíduos. Além disso, ficou evidente a possibilidade da produção de peixes em efluentes tratados ou em lagoas de maturação, desde que haja um monitoramento adequado da qualidade da água residuária.

Objetivando avaliar o potencial do reúso de água em piscicultura como pós-tratamento de efluente de lagoas de estabilização em série associado à produção de pescado, Felizatto (2000) desenvolveu pesquisa utilizando o efluente tratado da ETE Samambaia, Distrito Federal. A vazão da estação foi de 512 $L \cdot s^{-1}$ (44.237 $m^3 \cdot d^{-1}$), constituída por tratamento preliminar seguido de tratamento biológico, o qual é composto por dois módulos iguais, operando em paralelo, cada módulo compreendendo reator anaeróbio/lagoa facultativa, lagoa rasa ou de alta taxa e lagoa de polimento com chicana ou de maturação.

O procedimento experimental incluiu a construção da unidade piloto, a qual contava com dois tanques operando em paralelo, sendo um cultivado com peixes e outro para controle. Segundo Felizatto (2000) e Felizatto *et al.* (2000), os tanques de cultivo foram povoados com espécies de carpas prateadas (*Hipophthalmichthys molitrix*) e tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). O crescimento dos peixes foi avaliado pela biometria mensal de amostras e, ao final do experimento, foi verificada a condição higiênico-sanitária (Coliformes fecais, Salmonelas e *Staphylococcus aureus*) dos exemplares cultivados

durante os quatro meses do experimento e a taxa de sobrevivência dos peixes foi determinada por meio da contagem inicial e final dos exemplares. A Tabela 3.14 apresenta a característica do cultivo de peixe no tanque piscícola.

Tabela 3.14: Características do cultivo de peixe no tanque piscícola.
(Felizatto, 2000 e Felizatto *et al.*, 2000; modificado).

PARÂMETROS	TILÁPIA DO NILO	CARPA PRATEADA
Número de peixes	658	14
Densidade de Estocagem (peixes·$(m^2)^{-1}$)	3,95	0,08
Densidade de Estocagem (g·$(m^3)^{-1}$)	97	80
Biomassa inicial (Kg·ha^{-1})	988	814

A eficiência do processo como pós-tratamento de efluentes de lagoas de estabilização em série foi avaliada pelas determinações de alcalinidade, DQO total e filtrada, DBO, NTK total e filtrada, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, fósforo total e filtrado, ortofosfato, clorofila-a, sólidos suspensos totais (SST), coliformes fecais e totais, nas amostras de afluente e efluente de ambos os tanques piscícolas (Felizatto, 2000).

Felizatto (2000) reporta que as carpas utilizadas foram dispostas em duas gaiolas de 2,5x2,5x1,8 m, malha de 5 mm no início e no fim do tanque. Contudo, todos os exemplares de carpa morreram de Hidropisia Infecciosa, visto que os exemplares apresentavam muco esbranquiçado nas brânquias e necrose pelo corpo, especialmente na região dorso ventral. As tilápias do Nilo foram soltas no tanque, com um índice de sobrevivência de 14%. Ao final do estudo, constatou-se que a qualidade higiênico-sanitária dos peixes foi considerada satisfatória, baseando-se nas análises dos parâmetros microbiológicos da Portaria 451 da Secretária Nacional de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde.

Quanto ao aspecto específico de tratamento de efluentes utilizando peixes, segundo Felizatto (2000), foram obtidas remoções de 15% para SST e 12% para clorofila-a. Não foi observada remoção significativa de matéria orgânica, nutrientes e coliformes.

Souza (2002) avaliou a toxicidade dos efluentes de lagoas de estabilização da Estação de Tratamento de Esgoto de Samambaia (ETE Samambaia), Distrito Federal, para verificar a possibilidade do reúso de água em aqüicultura.

A pesquisa foi desenvolvida em uma área interna ETE Samambaia, no período de setembro de 2000 a novembro de 2001. O estudo valeu-se do emprego de ensaios de toxicidade, utilizando como bioindicadores as espécies de peixes tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e carpa prateada (*Hypophthalmichthys molitrix*), por terem sido cultivadas em experimentos anteriores e por demonstrarem fácil adaptação em lagoas de estabilização (Souza e Souza, 2003).

O experimento foi realizado na área da Unidade Piloto de Samambaia (UPS) com 1.353 m², local em que foi construído um abrigo para a realização dos experimentos. O abrigo foi construído para funcionar como laboratório piloto destinado à realização dos ensaios. Para criar esse laboratório-piloto, foram instaladas na parte interna do abrigo três bancadas de madeira (nas dimensões 4,0 x 0,4 x 0,8 m) para dar suporte aos aquários e um apoio de madeira (0,6 x 0,6 x 1,6 m) para sustentar a caixa de mistura, destinada à preparação das soluções-teste. No projeto das bancadas, os aquários foram dispostos de forma que o sistema pudesse funcionar por gravidade. Também foram adquiridos aquários e equipamentos para a execução dos testes (Souza e Souza, 2003).

No experimento, foram utilizados os efluentes das lagoas de estabilização da ETE Samambaia e os ensaios de toxicidade foram adaptados e realizados com larvas e alevinos das espécies em estudo. As variáveis avaliadas para verificar a toxicidade do efluente foram temperatura, pH, oxigênio dissolvido, amônia, mortandade e análise sanitária dos peixes. O experimento foi desenvolvido em duas etapas: testes preliminares, essenciais para definir os procedimentos operacionais – alimentação dos peixes, medição do teor do cloro na água, limpeza diária da caixa d'água e definição das concentrações das soluções-teste – e testes definitivos agudos e crônicos, realizados com os intervalos de concentração definidas nos testes preliminares (Souza, 2002).

No experimento, Souza (2002) avaliou a toxicidade aguda e crônica dos organismos testados, e analisou a qualidade sanitária dos peixes por intermédio dos testes definitivos de longa duração, realizados durante um mês. Durante o experimento, pH e temperatura não influíram na mortandade de tilápias do Nilo, o mesmo não se pode afirmar a respeito da carpa prateada, pois variações de temperatura na ordem de 5ºC causaram a morte desses peixes, contudo a mortandade de peixes não foi suficiente para configurar a toxicidade do efluente. No sistema semi-estático, período que antecede a transferência de peixes para os

aquários de teste, foram observados teores de oxigênio dissolvido próximos a zero, em seguida esse fato não era mais observado, sendo assim pode-se afirmar que o esgoto fresco sempre apresentava níveis de oxidação próximos à saturação e os teores de amônia apresentaram-se bastante elevados quando comparados à faixa de tolerância das espécies.

Souza (2002) verificou que os efluentes não apresentam toxicidade aguda para as espécies em estudo, nem toxicidade crônica para a espécie de tilápia do Nilo. Os resultados das análises sanitárias dos peixes indicaram a ausência de coliformes fecais ($NMP \cdot g^{-1}$), *Staphylococcus aureus* ($UFC \cdot g^{-1}$) e *Salmonella sp* (ausência ou presença$\cdot 25\ g^{-1}$) nas espécies cultivadas nos aquários experimentais, o que se deve provavelmente ao fato do efluente da ETE Samambaia apresentar menos de 1000 $CF \cdot (100mL)^{-1}$, o recomendado pela OMS, comprovando, assim, que esses limites são seguros do ponto de vista bacteriológico.

Bastos *et al.* (2003[b]) desenvolveram experimentos de campo, em escala piloto, que incluiu a avaliação comparativa da produtividade e da qualidade sanitária de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) cultivadas em sistemas de renovação contínua de água e água residuária (efluente de lagoa de estabilização).

O experimento se desenvolveu na ETE de Viçosa-MG, a qual é constituída por reator anaeróbio em escala real, seguido de uma série de três lagoas de estabilização em escala piloto, com o volume de 14,6 m³, altura de lâmina de 0,90 m, área superficial de 16,22 m² e vazão em torno de 2 $m^3 \cdot d^{-1}$. A unidade de piscicultura é constituída por duas linhas de 12 tanques em escala piloto (caixa d'água de 1.000 L em fibra de vidro), distribuídos entre sistemas de renovação continua ($10\% \cdot d^{-1}$ do volume total dos tanques) com água de poço e efluente final do sistema de lagoas (Bastos *et al.*, 2002 e 2003[b]).

O experimento de Viçosa se desenvolveu em três etapas, sendo que o diferencial de uma para outra etapa é a densidade de estocagem e o período em que o experimento se desenvolveu. Na Tabela 3.15 são apresentadas as diferenças entre as etapas realizadas.

Tabela 3.15: Diferenças das etapas realizadas no experimento de Viçosa.

ETAPA	PERÍODO	DENSIDADE DE ESTOCAGEM (peixes·caixa^{-1})
Etapa 1	dezembro de 2001 a fevereiro de 2002	10 – 20 – 30
Etapa 2	março e abril de 2002	6 – 12 – 18
Etapa 3	maio a julho de 2002	3 – 6 – 9

Segundo Bastos *et al.* (2003[b]), observou-se que, para maiores densidades e mesma quantidade de alimento, o ganho de peso dos peixes é inferior. Percebe-se também que na fase inicial de crescimento, os alevinos de tilápia são mais bem adaptados a metabolizar alimentos naturais, pois a espécie apresenta grande capacidade filtradora, diferente do que ocorre nas fases mais avançadas de crescimento, quando o aproveitamento é mais eficaz utilizando-se alimento artificial, visto que, nesta fase, os peixes apresentam características morfológicas e fisiológicas que favorecem a absorção desse tipo de alimento.

Bastos *et al.* (2002 e 2003[a]) concluíram também que peixes cultivados em esgoto tratado apresentaram excelente qualidade sanitária, ou seja, a qualidade físico-química e microbiológica do efluente mostrou-se inteiramente propícia a piscicultura. Contudo, a produtividade alcançada no cultivo com efluente da lagoa de estabilização, cuja única fonte de alimento era o fitoplâncton, não alcançou a produtividade do sistema convencional.

A Tabela 3.16 apresenta um resumo das principais pesquisas desenvolvidas no Brasil, na área de reúso de água.

Tabela 3.16: Pesquisas desenvolvidas no Brasil na área de reúso de água.

PESQUISA	OBJETIVOS	RESULTADOS
Matheus (1984).	Estudar o comportamento biológico da tilápia do Nilo em ambientes altamente seletivos de lagoas de estabilização, utilizando excremento de suínos; Avaliar a influencia desse peixe no processo de tratamento biológico de resíduo orgânico.	A espécie estudada teve um crescimento mais acentuado nas lagoas facultativas; Não houve diferença significativa entre a remoção média de DBO e outros parâmetros comparando as lagoas com peixes e sem peixes, contudo análises mais detalhadas dos dados revelarem um melhor funcionamento da lagoa que continha peixes.
Matheus (1993).	Produzir peixes a partir de águas residuárias da indústria de derivados cítricos sem alimentação suplementar; Estabelecer o rendimento total das espécies no sistema de policultivo dos peixes; Estudar os principais mecanismos e processos limnologicos nos tanques de peixes com bases quantitativas; e Detectar as inter-relações desses processos com as espécies de peixes presente.	É viável o cultivo de peixes em águas residuárias da indústria de processamento de furtas cítricas; Obteve-se melhor rendimento no sistema de policultivo, sendo a carpa prateada com o maior potencial de crescimento no ambiente em questão; A porcentagem de sobrevivência da tilápia do Nilo foi superior à das duas espécies, e nos sistemas de monocultivo, as espécies de carpa apresentaram mortandade total.

Tabela 3.16, continuação: Pesquisas desenvolvidas no Brasil na área de reúso de água.

Azevedo *et al.* (1993).	Criação de tilápia diretamente na lagoa facultativa na ETE de Termas de Ibirá.	Ser possível a produção de proteína de baixo custo, além de remover matéria orgânica do tanque.
Hortegal Filha *et al.* (1999).	Criação de tilápia nas lagoas de maturação secundária e terciária do Sistema de Lagoas de Estabilização em Série do Distrito Industrial de Maracaúna.	Qualidade da água das lagoas de maturação está de acordo com o que estabelece a OMS para a prática de piscicultura; Variáveis físico-químicas e microbiológicas permitem a sobrevivência dos peixes, o que evidência a possibilidade da produção de peixe.
Felizatto (2000).	Avaliar o potencial do reúso em piscicultura como pós-tratamento de efluente de lagoas de estabilização em série associada à produção de pescado	Constatou-se que a qualidade higienico-sanitária dos peixes foi satisfatória; 15% de remoção de SST e 12% para clorofila-a.
Souza (2002).	Avaliar a toxicidade aguda e crônica dos efluentes de lagoa de estabilização da ETE Samambaia, para verificar a possibilidade de reúso de água em aqüicultura, utilizando as espécies tilápia do Nilo e carpa prateada.	O efluente não apresenta toxicidade aguda para as duas espécies nem toxicidade crônica para a tilápia do Nilo; e Qualidade sanitária satisfatória dos peixes.
Bastos *et al.* (2002, 2003).	Estudo em escala piloto que inclui a avaliação comparativa de produtividade e qualidade sanitária de tilápias do Nilo, cultivadas em sistemas de renovação continua de água e água residuária (efluentes de lagoa de estabilização).	Para maiores densidades e mesma quantidade de alimentos, o ganho de peso é inferior; Na fase inicial de crescimento, os alevinos de tilápias são bem mais adaptados a metabolizar alimentos naturais; Os peixes cultivados em efluente tratado apresentam excelente qualidade sanitária; A produtividade no cultivo com efluente de lagoa de estabilização não alcançou a produtividade do sistema convencional.

3.2.3.5 – Características dos trabalhos já realizados no mundo

Nas Tabelas 3.17, 3.18, 3.19 e 3.20 podem ser observadas algumas características dos diferentes trabalhos já realizados na Índia, Peru, Egito e Brasil, respectivamente.

Tabela 3.17: Características de alguns trabalhos já realizados na Índia.

AUTOR	OBJETIVO DO TRABALHO	TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICO (d)	REGIME HIDRÁULICO	ALIMENTAÇÃO DO TANQUE
Edwards (1992)	Melhorar a qualidade da água do efluente	C	c	C

[c] Não há referências a respeito

Tabela 3.18: Características de alguns trabalhos já realizados no Peru.

AUTOR	OBJETIVO DO TRABALHO	TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICO (d)	REGIME HIDRÁULICO	ALIMENTAÇÃO DO TANQUE
Moscoso *et al.* (1992[a, b, c])	Reciclar nutrientes para produzir alimento	32 a 72 d	Batelada	Intermitente com freqüência semanal no inicio do experimento e diário no final

Tabela 3.19: Características de alguns trabalhos já realizados no Egito.

AUTOR	OBJETIVO DO TRABALHO	TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICO (d)	REGIME HIDRÁULICO	ALIMENTAÇÃO DO TANQUE
El Gohary *et al.* (1995)	Reciclar nutrientes para produzir alimento	25	c	C
Shereif *et al.* (1995)	Reciclar nutrientes para produzir alimento	21	c	C
El – S Easa *et al.* (1995)	Reciclar nutrientes para produzir alimento	21 a 27	c	C

[c] Não há referências a respeito

Tabela 3.20: Características de alguns trabalhos já realizados no Brasil.

AUTOR	OBJETIVO DO TRABALHO	TEMPO DE DETENÇÃO HIDRÁULICO (d)	REGIME HIDRÁULICO	ALIMENTAÇÃO DO TANQUE
Matheus[e] (1984)	Reciclar nutrientes para produzir alimento e melhorar a qualidade da água do efluente	28 (lagoas facultativas) 78 (lagoa de maturação)	Batelada	C

Tabela 3.20, continuação: Características de alguns trabalhos já realizados no Brasil.

Matheus[f] (1993)	Reciclar nutrientes para produzir alimento e melhorar a qualidade da água do efluente	50 a 100	Batelada	C
SABESP (1993)	Reciclar nutrientes para produzir alimento e melhorar a qualidade da água do efluente	48	c	C
Hortegal Filha *et al.* (1999)	Reciclar nutrientes para produzir alimento e melhorar a qualidade da água do efluente	5,5	c	C
Felizatto (2000) e Felizatto *et al.* (2000).	Reciclar nutrientes para produzir alimento e melhorar a qualidade da água do efluente	13	Contínuo	Contínuo
Bastos *et al.* (2002 e 2003[b]).	Reciclar nutrientes para produzir alimento e melhorar a qualidade da água do efluente	10	Contínuo	Contínuo

[c] Não há referências a respeito
[e] No experimento, foram utilizadas excremento de porco diluídos em água.
[f] No experimento, foram utilizadas águas residuárias de industrias de processamento de frutas cítricas.

Pode-se concluir, pelos diversos trabalhos já realizados no mundo, que o uso de água tratada em piscicultura é viável e confiável. Assim, essa prática deve ser incentivada, não apenas como forma de tratamento, o que ocorre em países desenvolvidos, mas também como forma de obter proteína de boa qualidade para diversas finalidades, dentre as quais pode-se destacar o uso em ração animal, motivo pelo qual essa prática é incentivada também em países em desenvolvimento.

3.2.4 – Técnicas de fertilização

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 parcialmente tratados, diretamente nas lagoas onde são produzidos os peixes ou plantas aquáticas comestíveis. Em alguns sistemas, entretanto, a produção de peixes é efetuada por meio de um processo indireto.

A Figura 3.2 mostra, esquematicamente, os diferentes processos de produção de peixes, tanto pelos métodos diretos como pelos indiretos.

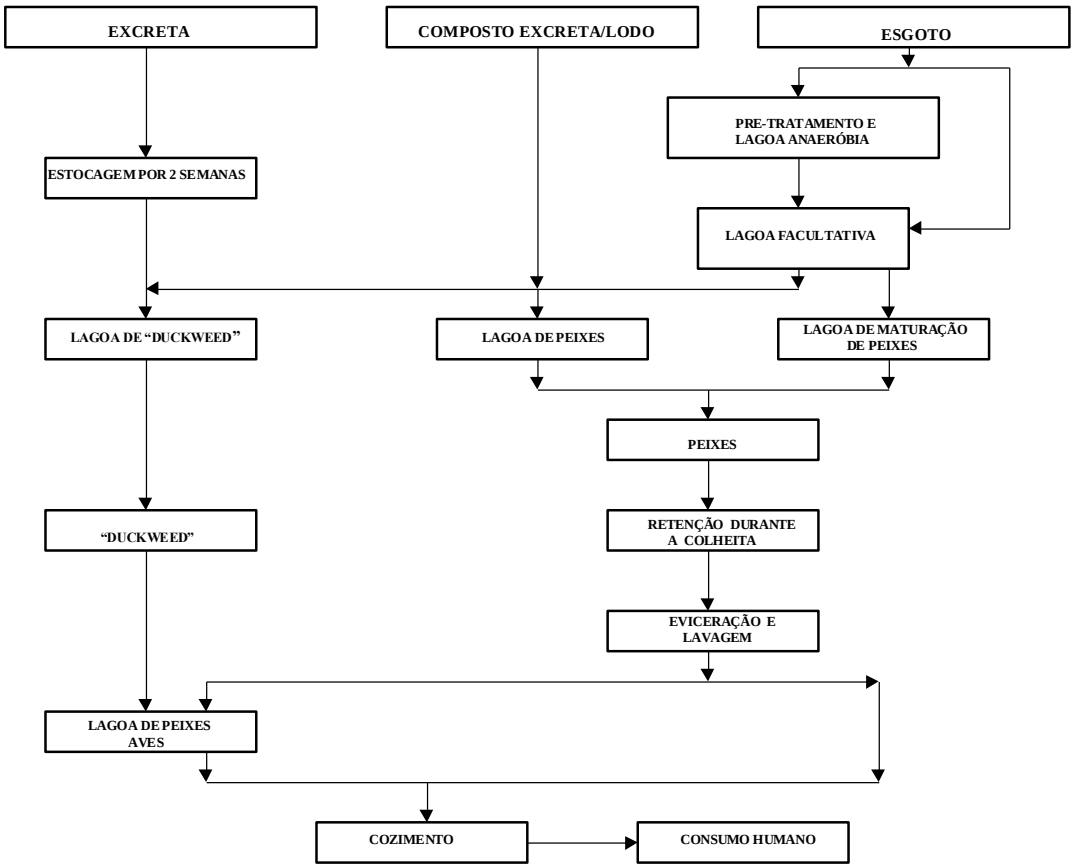


Figura 3.2: Sistemas de aqüicultura direta e indireta utilizando excreta, esgotos ou compostos.
(CNRH, 2003).

O sistema indireto tem se mostrado bastante seguro em termos de proteção da saúde dos consumidores de peixes e altamente benéfico em termos econômicos (CNRH, 2003).

No sistema aqüicola direto, a lagoa de peixe recebe, diretamente, esgoto tratado; enquanto que nos sistema aqüicola indireto, após o tratamento, o esgoto é lançado em lagoas de "duckweed" (macrófitas flutuantes), que, depois de seca, servirá de alimentos aos peixes.

Segundo o CNRH (2003), não existe no Brasil a prática de utilizar excreta ou compostos de excreta e biossólidos para a fertilização de lagoas para a produção de peixes. A prática de produzir peixes com esgotos é bastante incipiente.

Nesse sentido, seria desejável e conveniente que fosse estabelecida uma política de aqüicultura fertilizada, na qual seja permitido apenas o uso de efluentes domésticos tratados (por sistemas de lagoas de estabilização ou sistemas equivalentes) e que a produção de peixes fosse efetuada unicamente pelo sistema indireto, como mostrado na Figura 3.3 (CNRH, 2003).

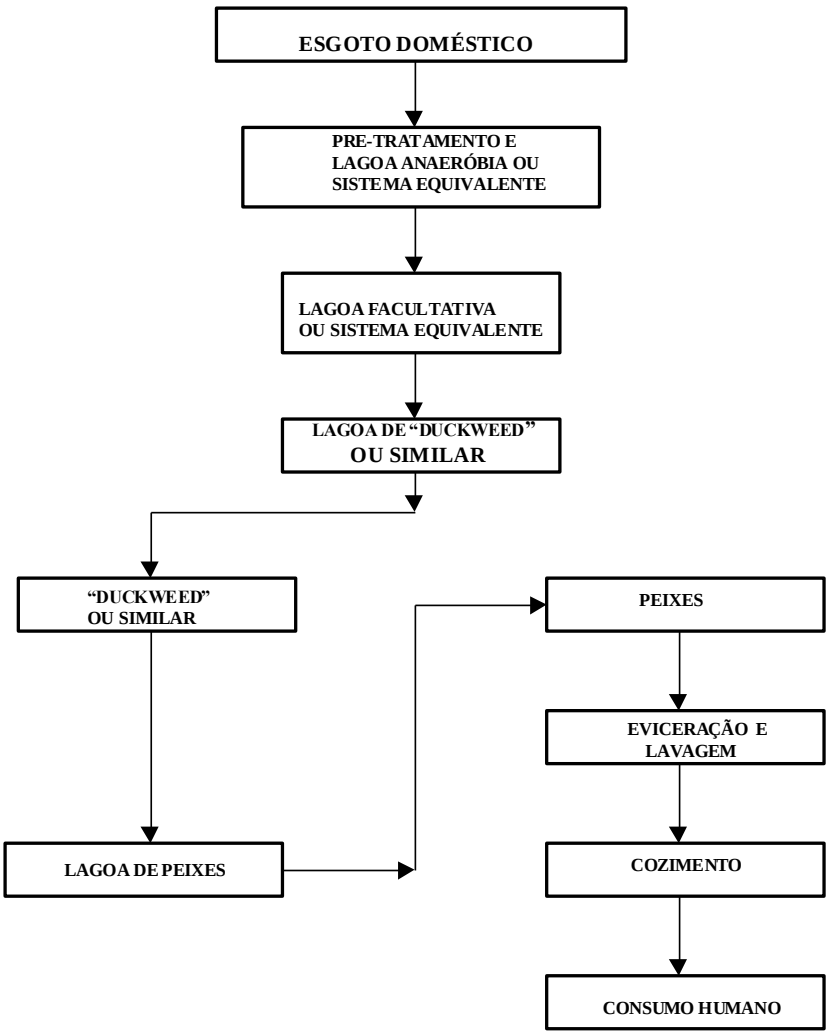


Figura 3.3: Sistema de fertilização indireta sugerida para implementação no Brasil. (CNRH, 2003).

Apesar do CNRH sugerir que a produção de peixes seja efetuada unicamente pelo sistema indireto, 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) afirmam que a fertilização direta das lagoas de peixes é uma prática segura e viável, desde que sejam tomando todos cuidados necessários, como em qualquer cultivo.

3.2.5 – Sistemas de manejo

A piscicultura pode ser desenvolvida em vários níveis, de acordo com os recursos disponíveis e objetivos. De acordo com Yancey e Menezes (1985) e Rodrigues (1996) os quatro tipos de sistema de manejo, com respectivas característica são:

3.2.5.1 – Extensivo

No sistema extensivo, a produção é condicionada principalmente pela adequação dos fatores físico-químicos e pela disponibilidade do meio ambiente, logo, baseia-se em alimentar o peixe com o máximo possível de alimento natural; se houver disponibilidade de recurso, pode haver a adubação. Nesse sistema, são introduzidas, no criadouro, espécies não nativas; baixo controle sobre predadores e controle sobre pesca. É uma prática bastante utilizada em lagoas públicas, com mais de 5 ha e é viável em águas estuarinas, devido a maior fertilidade natural, sendo que a produtividade de peixe comum é de 500 Kg·(ha ano) $^{-1}$.

3.2.5.2 – Semi – intensivo

Sistema que necessita de investimento apenas para realizar a calagem e adubação do reservatório que pode ser natural ou especialmente construída para isto. Nesse sistema, a taxa de predadores pode ser eficientemente controlada e se costuma baixar o nível da água na ocasião da despesca. É o sistema mais indicado para produtores que não queiram investir muito dinheiro e que tenham facilidade em conseguir adubo (orgânico ou químico)

por um baixo custo e sem grande esforço, pode-se atingir uma produtividade de 4 $t \cdot (ha\ ano)^{-1}$.

3.2.5.3 – Intensivo

O sistema intensivo é empregado em cultivos de organismos aquáticos que apresentem um tamanho de mercado de até 1Kg e é indicado para espécies que podem ser criadas em monocultura, atingindo uma produtividade média de até 10 t·ha ano. Nesse sistema, a densidade de estocagem é em torno de 1 a 10 $peixes \cdot (m^2)^{-1}$ e à medida que esta aumenta, o alimento natural passa a ser insuficiente para manter o desenvolvimento dos peixes, havendo a necessidade de introduzir alimento nutricional complementar; pode-se também obter uma grande quantidade de peixes em um espaço relativamente pequeno, devido ao total controle sobre a alimentação e reprodução dos peixes. Os viveiros têm, na maioria das vezes, área inferior a 5.000 m², com declividade que permite escoar totalmente a água e facilitar a coleta de peixes e exige uma renovação de água para suportar a biomassa existente.

3.2.5.4 – Superintensivo

O sistema superintensivo é aplicado à criação de peixes com peso médio de mercado de 500 g ou pode ser aplicado para criação de alevinos e recria, antes dos peixes serem estocados em outro sistema. Por serem criados peixes em sistema de superpopulação, a água é trocada constantemente para proporcionar oxigenação e a densidade de estocagem não é considerada em $peixes \cdot (m^2)^{-1}$ e sim $biomassa \cdot (m^3)^{-1}$ (Yancey e Menezes, 1985; Rodrigues, 1996).

A construção do tanque pode ser de alvenaria ou de qualquer outro material que promova um carreamento das excretas dos peixes para fora do tanque através do fluxo de água. Além de tanque, a criação pode se dar em gaiolas ou tanques-rede, onde os peixes são mantidos em alta densidade. Por ser a principal fonte de alimento, a ração deve ser nutricionalmente completa e ter estabilidade na água; além de propiciar um crescimento rápido e uma produção de, aproximadamente, 200 $Kg \cdot (m^3)^{-1} \cdot ano$.

Esse sistema não é indicado para pequenos produtores nem iniciantes, pois exige alto grau de sofisticação e mão-de-obra especializada; além de muitos aparelhos (filtros, compressores de ar, etc) que encarecem a produção.

Na Tabela 3.21 são apresentadas as comparações entre os sistemas de manejo existentes.

Tabela 3.21: Comparação entre os sistemas de manejo existentes.

SISTEMA	INVESTIMENTO[a]	PRODUTIVIDADE[a]	ALIMENTAÇÃO DOS PEIXES
Extensivo	Baixo	Baixa	Natural
Semi-intensivo	Baixo	Média	Natural
Intensivo	Médio	Alta	Artificial
Superintensivo	Alto	Alta	Artificial

[a] Quando se compara os sistemas entre si.

Pela Tabela 3.21, percebe-se que a produtividade aqüicola é diretamente proporcional ao investimento realizado. Assim, a escolha do melhor sistema de manejo dependerá dos objetivos a atingir e conhecimentos que o piscicultor possui, além do investimento que está disposto a realizar.

3.2.6 – Monitoramento de peixes durante o cultivo

Muitos piscicultores não conseguem ter a produtividade esperada devido ao fato de não realizarem o monitoramento de peixes. Com o objetivo de avaliar o andamento do cultivo em tempo real, corrigindo, assim, possíveis problemas no cultivo, torna-se indispensável o monitoramento de peixes.

3.2.6.1 – Técnica da amostragem

A técnica da amostragem consiste na retirada de uma amostra de peixes do viveiro e o cálculo dos principais parâmetros zootécnicos relativos ao cultivo.

A forma mais comum de capturar os peixes é por meio do uso de tarrafas (rede de pescar). Os peixes capturados deverão ser avaliados rapidamente para identificação de possíveis enfermidades, medidos e pesados um a um antes de serem devolvidos ao viveiro.

Com esses dados, é possível calcular os seguintes índices zootécnicos: peso e comprimento mínimos e máximos; peso e comprimento médios da população; ganho de peso; e taxa de conversão alimentar. De uma forma geral, segundo Ostrensky e Boeger (1996), o número máximo de peixes capturados deve ficar em torno de 30, quando a densidade de estocagem não é elevada, sendo esse número suficiente para avaliar o estado de saúde dos animais e o próprio andamento do cultivo.

3.2.6.2 – Técnica de seleção

Essa técnica baseia-se na seleção periódica de todos os peixes do cultivo e sua transferência para diferentes viveiros, de acordo com o seu tamanho. Assim, em um mesmo viveiro são agrupados apenas peixes que apresentem tamanhos semelhantes.

A técnica da seleção pode ter vários objetivos: (1) conhecer a qualidade e o peso total de peixes no viveiro; (2) controlar a densidade de peixes; (3) diminuir a variação das classes de tamanho dentro do plantel; (4) evitar a perda por canibalismo; e (5) eliminar peixes indesejáveis (Ostrensky e Boeger, 1996).

A escolha da técnica mais adequada para o monitoramento de peixes durante o cultivo depende do tipo de manejo adotado, dos investimentos feitos e dos objetivos a que se destina a criação.

Para a prática de reúso, a técnica mais interessante para se trabalhar é a técnica de amostragem, por ser a mais barata e simples. Além do que, nem sempre, na prática do reúso, se dispõe da quantidade de tanques necessária para separar os peixes de acordo com o tamanho, o que é indicado na técnica de seleção. Além disso, quando se pratica reúso para fins piscícolas, nem sempre a produção de peixes é o principal objetivo. Sendo assim, nesta pesquisa, escolheu-se trabalhar com a técnica de seleção.

A Tabela 3.22 apresenta a comparação entre as duas técnicas de manejo mais utilizadas, a técnica da “amostragem” e a técnica da “seleção”.

Tabela 3.22: Técnicas de Amostragem *versus* Técnica de Seleção.
(Ostrensky e Boeger, 1996).

AMOSTRAGEM	SELEÇÃO
Em geral, a técnica de amostragem não permite saber o número exato de peixes no viveiro.	A técnica de seleção permite saber o número exato de peixes no viveiro.
Possibilita o cálculo dos principais parâmetros zootécnicos.	Possibilita o cálculo dos principais parâmetros zootécnicos.
Não possibilita uma maior uniformidade de tamanho de peixes produzidos.	Possibilita uma maior uniformidade de tamanho de peixes produzidos.
Causa baixo nível de estresse no plantel.	Causa alto nível de estresse no plantel.
Pode ser aplicada em qualquer espécie de peixe.	Não pode ser aplicada em qualquer espécie de peixe
Não possibilita a otimização do uso de viveiros.	Não possibilita a otimização do uso de viveiros.
Pode ser aplicada em viveiros maiores.	Dificilmente pode ser aplicada em viveiros maiores.
Duas pessoas são suficientes para a aplicação da técnica.	São necessárias pelo menos três ou quatro pessoas para aplicação da técnica.
Baixo grau de dificuldade de aplicação da técnica.	Alto grau de dificuldade de aplicação da técnica.

3.3 – ESPÉCIES, LINHAGENS E HÍBRIDOS DE TILÁPIA

As tilápias são reconhecidamente as espécies que melhor se adaptam a diferentes condições de qualidade da água. São bastantes tolerantes à baixas concentrações de oxigênio dissolvido, convivem com uma faixa bastante ampla de acidez e alcalinidade na água, crescem e até mesmo se reproduzem em águas salobras e salgadas e toleram altas concentrações de amônia tóxica comparadas à maioria dos peixes cultivados (Kubitza, 2000).

Buras *et al.* (1987) avaliaram o crescimento de três espécies de peixes em lagoas de estabilização: tilápia, carpa e carpa prateada e chegaram à conclusão de que a tilápia é a espécie mais resistente a altas concentrações de poluentes, tanto químicos como bacteriológicos.

Na década de 80, as tilápias foram taxonomicamente agrupadas em três gêneros principais, de acordo com suas características reprodutivas: o gênero *Oreochromis*, no qual as fêmeas realizam a incubação oral dos ovos e oferecem proteção às pós-larvas (cuidado parental); o gênero *Sarotherodon*, no qual o macho ou o casal realiza a incubação oral dos ovos e

oferece cuidado parental; e o gênero *Tilapia*, o qual engloba espécies que desovam em substratos em substratos e geralmente não realizam a incubação dos ovos e a proteção dos pós-larvas na boca. Essa classificação é polêmica, pois todas as tilápias desovam em substratos. As espécies do gênero *Tilapia* também dedicam cuidado parental. Embora não seja freqüente ver peixes desse gênero incubando ovos na boca, na necessidade de transferência dos ovos ou larvas para outro local (ninho), os reprodutores podem carregar suas proles na boca (Kubitza, 2000).

São reconhecidas mais de 70 espécies de tilápias, sendo a grande maioria originária da África. No entanto, apenas 4 conquistaram destaque na aqüicultura mundial, todas elas do gênero *Oreochromis*: a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*); a tilápia de Moçambique (*Oreochromis mossambicus*); a tilápia azul ou tilápia áurea (*Oreochromis aureus*) e a tilápia de Zanzibar (*Oreochromis urolepis hornorum*). A Tabela 3.23 apresenta, resumidamente, as principais características dessas espécies. Combinações entre espécies foram realizadas para obtenção de híbridos machos ou de híbridos vermelhos, as características desses híbridos são intermediárias, dependendo do grau de contribuição das espécies que lhe deram origem (Kubitza, 2000).

Tabela 3.23: Característica das espécies de tilápias mais cultivadas.
(Kubitza, 2000, modificado).

	Tilápia do Nilo	Tilápia Azul	Tilápia de Moçambique	Tilápia de Zanzibar
Crescimento	*****	****	**	**
Tolerância ao frio	***	*****	**	**
Tolerância à alta salinidade	**	***	*****	*****
Maturação sexual (meses)	5 a 6	4	3	3 a 4
Prolificidade	****	***	**	**

Legenda: ***** 5 Estrelas; **** 4 Estrelas; *** 3 Estrelas; ** 2 Estrelas e * Estrela.

3.4 – CARACTERISTICAS E FATORES RELEVANTES DA ESPÉCIE UTILIZADA

A partir de trabalhos realizados anteriormente por diversos autores, escolheu-se trabalhar com a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), pelos seguintes motivos (Lima, 1996):

(1) é uma espécie bem conhecida;
(2) aceita uma grande variedade de alimentos explorando todos os itens básicos da cadeia trófica;
(3) responde com a mesma eficiência a ingestão de proteínas de origem vegetal e animal;
(4) apresenta resposta positiva à fertilização (adubação) dos viveiros;
(5) tem grande capacidade de filtrar fitoplâncton;
(6) é bastante resistentes às doenças, superpovoamentos, baixos teores de oxigênio dissolvidos;
(7) desova durante todo ano nas regiões mais quente do país; e
(8) tem alto valor comercial e grande aceitação no mercado.

Na Figura 3.4 é apresentada a tilápia do Nilo utilizada nessa pesquisa.

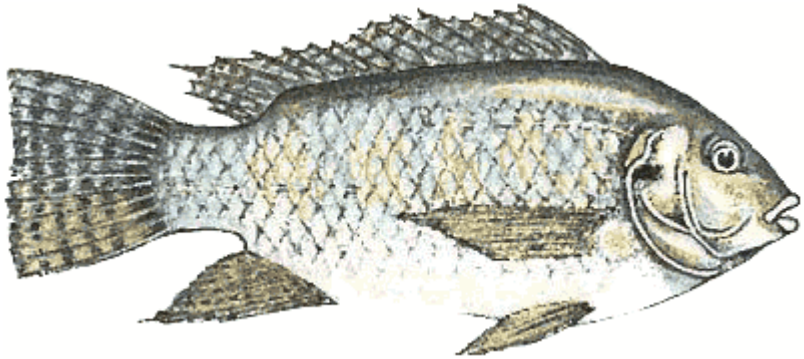


Figura 3.4: Tilápia do Nilo utilizada na pesquisa.

3.4.1 – Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

Nativa de diversos países africanos, a tilápia do Nilo, ou tilápia nilótica, é a espécie de tilápia mais cultivada em todo o mundo, devido ao fato de possuir um crescimento mais rápido, produção mais tardia, permitindo alcançar maior tamanho antes da primeira reprodução e alta prolificidade, ou seja, produz grande quantidade de alevinos. Além disso, a tilápia do Nilo parece apresentar uma grande habilidade em filtrar as partículas do plâncton, assim, quando cultivada em viveiros de água verde, a tilápia do Nilo, geralmente supera em crescimento e conversão alimentar as demais espécies de tilápia (Kubitza, 2000).

Contudo, a continua reprodução da tilápia pode ocasionar uma sobrecarga de população nos tanques de cultivo, limitando o potencial de crescimento dos peixes. Assim, esse problema tem sido controlado mediante a reversão sexual com hormônios masculinos, realizada durante os primeiros 30 dias dos alevinos e que permite obter população de puros machos, evitando a reprodução descontrolada e um melhor crescimento dos peixes (Moscoso *et al.*, 1992ª).

A tilápia do Nilo foi classificada, quanto aos hábitos alimentares, como espécie fitoplanctófaga com número de rastros branquiais e que pratica incubação bucal (*mouthbrooders*), ou seja, um dos pais, em geral a fêmea, coleta os ovos recém-depositados no ninho com a boca, onde eles são incubados e protegidos até que os jovens estejam com algumas semanas de idade (Lowe – McConnell, 1975 *apud* Matheus, 1984). A Figura 3.5 apresenta uma fêmea de tilápia do Nilo praticando a incubação bucal..

Figura 3.5: Fêmea de tilápia do Nilo praticando a incubação bucal.

Segundo pesquisa desenvolvida por Matheus (1984), a tilápia do Nilo apresentou impressionante capacidade de adaptação em ambientes que sofrem extremas variações ambientais, principalmente em relação ao oxigênio dissolvido e pH.

Uma das linhagens da tilápia do Nilo é a tilápia tailandesa, também denominada "chitralada", que foi introduzida no Brasil em 1997 e, por ter sofrido processo (direto ou indireto) de seleção, são mais calmas e dóceis durante o manuseio e apresentam relativa facilidade na despesca, mesmo quando cultivada em viveiros, quando comparadas a outras tilápias do Nilo (Kubitza, 2000).

A seguir são apresentadas algumas características e parâmetros ambientais relevantes sobre a espécie em estudo.

3.4.2 – Idade dos peixes

Szumski *et al.* (1982) *apud* Reis e Mendonça (1999) observaram que os organismos mais jovens são menos tolerantes à amônia que os organismos adultos da mesma espécie.

3.4.3 – Temperatura

Tilápias são peixes tropicais que apresentam conforto térmico entre 27 a 32ºC. Temperaturas acima de 32ºC e abaixo de 27ºC reduzem o apetite e o crescimento. Abaixo de 20ºC o apetite fica extremamente reduzido e aumenta os riscos de doenças. Com temperatura da água abaixo de 18ºC (condições comum no sudoeste e sul do Brasil), o sistema imunológico das tilápias é suprimido. Tilápias bem nutridas e que não sofrem estresse por má qualidade da água, toleram melhor o manuseio sob baixas temperaturas (Kubitza, 2000).

Segundo Kubitza (2000), para tilápias do Nilo, as temperaturas mínimas letais variam entre 8 a 13ºC, dependendo da adaptação. Com relação a temperatura máxima letal, essa pode variar de 38 a 44ºC, quando aclimatadas em temperaturas de 15 a 35ºC, respectivamente. Segundo Ferbdabdes e Rantin (1986) *apud* Kubitza (2000), quando mais próxima for a temperatura de aclimatação dos peixes das temperaturas extremas, maior será a tolerância desses ao frio e ao calor.

A quantidade de oxigênio dissolvido na água depende da temperatura, pois a solubilidade dos gases na água é influenciada diretamente por esse fator. Quanto maior a temperatura, menor será a solubilidade do oxigênio e conseqüentemente menor a disponibilidade no meio. A temperatura também exerce influência direta sobre a velocidade da fotossíntese, aumentando-a ou diminuindo-a de acordo com suas variações. O aumento da temperatura ocasiona um aumento na taxa de degradação biológica da matéria orgânica, o que aumenta a quantidade de produtos da decomposição, como nutrientes disponíveis para algas, por exemplo.

3.4.4 – Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH é um parâmetro muito especial nos ambientes aquáticos, podendo ser a causa de muitos fenômenos químicos e biológicos, além de possuir efeito sobre o metabolismo e processos fisiológicos de peixes, camarões, e todos os organismos aquáticos. Porém, pode também ser conseqüência de outra série de fenômenos, por exemplo, o pH alcalino é responsável por uma maior percentagem de amônia não ionizada, presente na água, mas esse mesmo pH pode ser o resultado de uma outra série de fatores, tais como a abundância de fito-plâncton nos tanques de cultivo (Arana, 1997).

Muitas águas naturais têm valores de pH entre 5 e 10, sendo que os valores mais adequados para a produção de peixes estão compreendidos na faixa de 6,5 a 9 (Boyd, 1990). Valores de pH inferiores a 6,5 diminuem os processos reprodutivos. Segundo Kubitza (2000), em pH abaixo de 4,5 e acima de 10,5 a mortandade de tilápias do Nilo é significativa.

Segundo Matheus (1993), o pH, em experimento desenvolvido por uma empresa processadora de frutas cítricas, manteve-se sempre acima de 7 e nunca atingiu os níveis considerados prejudiciais à sobrevivência dos peixes.

Tilápias apresentam baixa sobrevivência quando em águas com pH abaixo de 4,0. Chunhatai *et al.* (1988) *apud* Kubitza (2000), observaram a morte de toda população, entre 1 a 3 dias de tilápias mantidas em água com pH de 3 unidades. Em águas de pH 2, a tilápia do Nilo não sobrevive por mais de 12 horas. Em um mês a pH 4, 40% dos peixes morreram. Quando expostas ao pH baixo, as tilápias mostraram sinais de asfixia (movimentos operculares acelerados e boquejamento na superfície), há um 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 (<30mg de Ca $CO_3 \cdot L^{-1}$), o pH pode alcançar valores acima de 12, ao final da tarde em dias muito ensolarados, o que pode inibir o consumo de alimento e, se ocorrer com freqüência, afetar o crescimento dos peixes. Geralmente não é observada mortalidade diretamente

ligada a esta elevação de pH, pois os peixes encontram conforto em águas mais profundas. Contudo, o elevado pH pode potencializar os problemas com toxidez por amônia (Kubitza, 2000).

3.4.5 – Oxigênio Dissolvido (OD)

A dinâmica do oxigênio dissolvido em tanques de cultivo de peixes e outros sistemas eutróficos, como as lagoas de estabilização, difere substancialmente da verificada em sistemas naturais, pois são ambientes muito rasos, com áreas menores e limitada circulação de água. Esses sistemas normalmente não possuem macrófitas ou algas bentônicas, de modo que a fotossíntese do fitoplâncton é o principal mecanismo de fornecimento de oxigênio, cuja eficiência está diretamente relacionada com a quantidade de radiação solar, nutrientes dissolvidos e concentração de algas. Por outro lado, uma variedade de reações biológicas concorre para o consumo de oxigênio em tanques, entre elas o metabolismo dos peixes, decomposição bacteriana dos resíduos e matéria orgânica adicionada, respiração do plâncton e bentos. À noite, como não há atividade fotossintética, ocorre naturalmente um declínio de oxigênio nas águas, sendo a intensidade dessa remoção dependente das relações quantitativas entre as diversas reações citadas e, por esse motivo, varia de um ambiente para outro (Matheus, 1993).

Segundo Matheus (1993), níveis adequados de oxigênio dissolvido são fundamentais para a manutenção de um bom desenvolvimento de peixes. Baixas concentrações de OD são freqüentemente encontradas em tanques que recebem resíduos orgânicos, o que pode levar à deterioração da qualidade da água. Em níveis de oxigênio cronicamente baixos, os peixes não se alimentam e portanto não se desenvolvem satisfatoriamente. Azevedo *et al.* (1993) reportam que a tilápia do Nilo sobrevive em ambientes com concentrações de OD de até 0,5 $mg \cdot L^{-1}$. Segundo Boyd (1990), nas condições de temperatura média e salinidade do tanque TA, a solubilidade do oxigênio no tanque é de 8,56 $mg \cdot L^{-1}$.

Concentrações de oxigênio dissolvido também mostram significativas variações em relação à profundidade dos tanques. Na pesquisa desenvolvida por Matheus (1993), durante o dia, geralmente havia supersaturação do hipolímnio, enquanto à noite, os valores de OD permaneciam sempre mais baixos. Os valores mais baixos registrados na pesquisa, utilizando efluentes de processamento de frutas cítricas, foram registrados no fundo dos

tanques de controle e monocultivo de carpas. Segundo o autor, as concentrações no hipolímnio mais baixas do oxigênio dissolvido foram registradas nos dias mais quentes, com marcante estratificação térmica. Devido à forte estratificação, pouco ou nenhum oxigênio era fornecido ao hipolímnio durante o dia. Assim sendo, o oxigênio dissolvido só atingia as camadas inferiores durante os períodos noturnos através da circulação vertical. Por outro lado, o oxigênio dissolvido sofria, nesse período, elevado consumo pelas densas populações microbianas presentes (Matheus, 1993).

As tilápias toleram baixas concentrações de oxigênio dissolvido na água. Em viveiros de recria, já foi observado alevinos de tilápia do Nilo, entre 10 e 25 gramas, suportarem concentrações de oxigênio entre 0,4 a 0,7 $mg \cdot L^{-1}$ por 3 a 5 horas, durante 2 a 4 manhãs consecutivas, sem registro de mortalidade (Kubitza, 2000). Segundo Green *et al.* (1984) *apud* Kubitza (2000), a tilápia do Nilo tolerou oxigênio zero (anoxia) por até 6 horas, sugerindo a possibilidade desse peixe realizar respiração anaeróbia. Matheus (1984), Branco *et al.* (1985) e Matheus (1986) verificaram que tilápias do Nilo permaneceram vivas por várias horas noturnas em uma condição de anaerobiose total, em lagoas de estabilização, situação essa (ausência de oxigênio) que se manteve, nos períodos noturnos, durante todo o experimento, que teve duração de um ano. Segundo os mesmos autores, as tilápias do Nilo possuem alta capacidade de regulação de tomada de O_2 do ambiente o que explica, parcialmente, a alta resistência dessa espécie à depleção de O_2 do meio.

Assim sendo, nos casos que esses organismos são submetidos a hipóxia aguda e prolongada, eles devem utilizar vias metabólicas anaeróbias (Matheus, 1984 e 1986).

Apesar desta habilidade em sobreviver algumas horas sob anóxia, tilápias freqüentemente expostas ao baixo oxigênio dissolvido ficam mais susceptíveis às doenças e apresentam desempenho reduzido. Quando a concentração de oxigênio dissolvido atinge 45 a 50% da saturação (aproximadamente 3 a 3,5 $mg \cdot L^{-1}$, a 28 – 30ºC), a tilápia do Nilo começa a reduzir suas atividades e, portanto, o consumo de oxigênio (Ross e Ross, 1983 *apud* Kubitza, 2000).

3.4.6 – Amônia

Proveniente da excreção nitrogenada dos próprios peixes e de outros organismos aquáticos, bem como da decomposição microbiana dos resíduos orgânicos na água, a amônia pode prejudicar o desempenho, aumentar a incidência de doenças e, até mesmo, causar a morte direta dos peixes por intoxicação. A amônia está presente na água sob duas formas: o íon amônio NH_4^+ (forma pouco tóxica – ionizada) e a amônia NH_3 (forma tóxica – não ionizada ou amônia livre) (Kubitza, 2000). As concentrações relativas dessas duas formas são dependentes do pH e da temperatura (Erickson, 1985).

A concentração de amônia se eleva gradualmente durante o cultivo, o que pode permitir uma grande adaptação das tilápias a um nível de amônia tóxica mais elevada. Mesmo sem observar mortalidade que pudesse ser diretamente atribuída à toxidez por amônia, a exposição dos peixes a níveis subletais de amônia compromete o crescimento e a conversão alimentar, a tolerância ao manuseio e transporte e a condição de saúde dos peixes. Valores de amônia não ionizada acima de 0,2 $mg \cdot L^{-1}$ já são suficientes para induzir uma toxidez crônica levando a uma diminuição do crescimento e da tolerância dos peixes às doenças (Kubitza, 2000).

Segundo o mesmo autor, concentrações de amônia não ionizada abaixo de 0,24 $mg \cdot L^{-1}$ são consideradas adequadas para tilápias. Segundo Buras *et al.* (1987), as concentrações limite de amônia para tilápias são: NH_4^+ – N: 8,0 ppm e NH_3 – N: 0,3 – 0,6 ppm. As concentrações letais que matam 50% dos animais em 24, 48 e 96 horas (LC_{50} 24h, LC_{50} 48h, LC_{50} 96h) foram determinadas para tilápias vermelhas híbridas (*Oreochromis niloticus* x *Oreochromis mossambicus*) ao redor de 6,6 $mg \cdot L^{-1}$, 4,0 $mg \cdot L^{-1}$ e 2,6 $mg \cdot L^{-1}$, respectivamente (Daud *et al*., 1988 *apud* Kubitza, 2000). Para a tilápia azul (*Oreochromis aureus)*, esses valores foram menores e mais próximos entre si: 2,5 $mg \cdot L^{-1}$, 2,4 $mg \cdot L^{-1}$ e 2,3 $mg \cdot L^{-1}$ (Redner e Stickney, 1979 *apud* Kubitza, 2000).

A forma catiônica (NH_4^+) não pode penetrar passivamente através da membrana celular, pois é impedida por processos bioquímicos no interior celular e, por esse motivo, não é tóxica para os peixes. Ao contrário, a amônia livre (NH_3) pode facilmente difundir-se através das membranas das brânquias, devido à sua elevada solubilidade nos lipídios e a

falta de cargas elétricas, constituindo, assim, um poderoso veneno para os peixes (Thurston *et al.*, 1981).

Pesquisas demonstraram que a toxicidade da amônia total aumenta com a elevação do pH, porque a quantidade de amônia não-ionizada aumenta com o pH, o que se conclui que a amônia não-ionizada é mais tóxica que o ion amônia (Chipman, 1934; Wuhrman e Work, 1948; Downing e Merkens, 1955 *apud* Erickson, 1985).

Powers (1920) e McCay e Vars (1931) *apud* Erickson (1985) demonstraram que a toxicidade aumenta com a temperatura quando expressa em amônia total, mas, sem referência ao pH não é possível determinar que parcela tóxica é atribuída a amônia não-ionizada.

Segundo Emerson *et al.* (1975) *apud* Reis e Mendonça (1999), 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, baseado na amônia total, a seguinte expressão foi estabelecida (Thurston *et al.*, 1981):

$$\%\,NH3 = \frac{1}{1+10^{[0,09018+2729,92/(T+273,20)]-pH}}$$

Legenda:
pH: potencial hidrogeniônico;
T: temperatura

A toxicidade da amônia não-ionizada (NH_3) é influenciada pelos valores de pH e temperatura, o crescimento desses valores reduz a toxicidade da amônia não-ionizada, principal responsável pelos efeitos tóxicos da amônia total (Reis e Mendonça, 1999).

Pesquisas desenvolvidas por Lloyd e Orr (1969) *apud* Reis e Mendonça (1999) demonstraram que não apenas os tecidos das guelras, mas também os tecidos do intestino, fígado, pele e rins são danificados, e que os danos produzidos podem ser consideráveis depois de prolongadas exposições a concentrações sub-letais de amônia total. Segundo os mesmo pesquisadores, os peixes são menos hábeis para excretar amônia em baixas

temperaturas, o que pode ser a responsável pelo aumento da suscetibilidade dos peixes à amônia em baixas temperaturas.

Ruffier (1981) *apud* Reis e Mendonça (1999) sustenta que a espécie NH_3 suprime a excreção da amônia endógena através das guelras dos peixes. Dessa forma, a mortalidade pode ser atribuída à falhas neurológicas e citológicas causadas pelos altos níveis de amônia endógena.

Ao avaliarem os efeitos tóxicos de efluentes com altas concentrações de amônia total, Robinson-Wilson e Seim (1975) *apud* Reis e Mendonça (1999) indicaram que, apesar das concentrações da parcela não-ionizada aumentarem com o crescimento do pH, a toxicidade dessa espécie tende a decrescer. Lloyd e Herbert (1960); Tabata (1962); Stevenson (1977); Armstrong *et al.* (1978); Mccomik *et al.* (1984) e Broderius *et al.* (1985) *apud* Erickson (1985) também identificaram redução na toxicidade da parcela não-ionizada com incremento nos valores de pH.

Segundo Garbossa (2003), em pH básico e concentrações acima de 0,25 $mg \cdot L^{-1}$, a amônia pode afetar o crescimento de diversas espécies de peixes.

Segundo Matheus (1993), em valores elevados de pH e temperatura, a volatilização pode ser um importante mecanismo de remoção de nitrogênio. Boudim *et al.* (1974) *apud* Matheus (1993) mostraram que significativas quantidades de amônia (NH_3) são perdidas para a atmosfera quando o pH excede 8,5.

A redução do oxigênio dissolvido normalmente aumenta o efeito tóxico da amônia. A combinação de pH elevado e baixas concentrações de oxigênio dissolvido são as principais causas de mortalidade de peixes em sistema de cultivo intensivo (Shilo e Rimon, 1982 e Sim e Chin, 1982 *apud* Matheus, 1993).

Segundo Thurston *et al.* (1981) uma diminuição de oxigênio dissolvido de 30 a 50% abaixo do nível de saturação incrementa a toxidez da amônia.

3.4.7 – Salinidade e condutividade

A condutividade é a medida da habilidade de conduzir corrente elétrica. Diferentes íons variam nessa habilidade de conduzir eletricidade, mas em geral, a maior concentração de íons na água natural, corresponde a maior condutividade. Pode-se utilizar o parâmetro condutividade para obter uma noção do grau de mineralização da água natural e está diretamente ligada a quantidade de sólidos dissolvidos totais.

Com relação a salinidade, o crescimento da tilápia do Nilo é maximizado em águas com 10 a 12 $g \cdot L^{-1}$ de sais. No entanto, essa espécie não é capaz de se reproduzir em água a partir de valores de salinidade de 32 $g \cdot L^{-1}$. O crescimento da tilápia do Nilo em água com salinidade de 16 – 18 ppt é compatível ao observado em água doce. A tolerância à salinidade aumenta com a idade/tamanho do peixe, contudo, o tamanho parece ser mais importante do que a idade, para esse parâmetro. Até 40 – 45 dias, a tilápia do Nilo apresenta baixa tolerância a alta salinidade e a tolerância máxima parece ser atingida com alevinos maiores que 5 cm. A desova em água salobra favorece a sobrevivência dos alevinos após a transferência para água de salinidade mais elevada (Kubitza, 2000).

3.4.8 – Considerações relevantes no cultivo de tilápia

A Tabela 3.24 resume as principais considerações a respeito do cultivo de tilápia em lagoas, viveiros e campos de arroz.

Tabela 3.24: Principais Considerações a Respeito do Cultivo de Tilápia em Lagoas, Viveiros e Campos de Arroz.
(Bocek, 1996[b]).

CONSIDERAÇÕES	TIPOS DE CULTIVO		
	Lagoas	Viveiros	Campo de Arroz
1) Métodos de Cultivo			
Ambos os sexos	Sim	Sim	Sim
Um único sexo	Sim	Sim	Sim
Policultivo	Sim	Sim	Sim
Integrado com safra	Sim	Sim	Sim
Integrado com criação	Sim	Sim/Não	Sim
2) Tamanho Mínimo da unidade de cultivo	100 m²	1 m³	100 m²
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) 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
5) Período de Cultivo em Meses	4 – 6	4–6	Variável
6) Produção Média por safra (***)	1 – 4 tons	5–50 Kg	300–500 Kg
7) Peso Médio por safra			
Ambos os sexos cultivados	50 – 100g	80–150g	50 – 100g
Um único sexo cultivado	150–300g	150–300g	100– 200g

* Lagoas e campos de arroz são estocados no principio de peixes·$(m^2)^{-1}$ de área superficial e viveiros no princípio de m³.
** Tilápia com no mínimo de 20g são necessárias para o cultivo com um único sexo.
*** Lagoas e campos de arroz são calculados no principio de 1·ha^{-1} e em viveiros 1·$(m^3)^{-1}$.

3.5 – TANQUE-REDE

Segundo Teixeira Filho (1991), para se ter um controle mais apurado do desenvolvimento dos alevinos na fase inicial de adaptação, deve-se limitar o espaço oferecido, pelo uso de redes ou divisórias.

A piscicultura em tanque-rede é bastante difundida no mundo e vem ganhando grande número de adeptos no Brasil por ser uma técnica relativamente barata e simples se comparada à piscicultura tradicional em viveiros de terra, pois pode ser utilizada para o aproveitamento de uma grande variedade de ambientes aquáticos, o que dispensa o alagamento de novas terras e reduz os gastos com a construção de viveiros (Ono e Kubitza, 1997).

Segundo Ono e Kubitza (1997), são duas as categorias de tanques-rede comumente utilizadas:

a) as de grande volume (GV), com volume superior a 50 m^3; e
b) as de pequeno volume (PV), com volume de 1 a 4 m^3.

3.5.1 – Tanques-rede de grande volume (GV)

A produção de peixes em tanques-rede de grande volume é mais tradicional que em tanques-rede de pequeno volume. A produtividade de peixes nesse tipo de tanque-rede é limitada principalmente pela capacidade de remoção de água, existindo pequena influência da movimentação dos peixes. Adicionalmente, tanques-rede de grande volume, são, em geral, pesados e de difícil manuseio (Ono e Kubitza, 1997).

3.5.2 – Tanques-rede de pequeno volume (PV)

Em tanques-rede de pequeno volume com alta densidade de estocagem ocorre uma maior taxa de renovação de água, possibilitando a obtenção de produtividades maiores (150 a 250 $Kg \cdot (m^3)^{-1}$). A renovação de água nesse tipo de tanque-rede ocorre em função da correnteza da água e pela movimentação dos peixes dentro do tanque-rede. Do ponto de vista operacional, o uso de tanques-rede pequenos facilita o manejo, principalmente na despesca (Ono e Kubitza, 1997).

Segundo Ono e Kubitza (1997), apesar da vantagem em se utilizar tanques-rede de pequeno volume com alta densidade de estocagem, o cultivo de alguns peixes, a exemplo dos salmões e certas espécies marinhas, não é viável nesse tipo de tanques-rede. A razão disso não é completamente entendida, mas acredita-se que alguns desses peixes necessitam de maior espaço para natação por serem espécies pelágicas ou por serem cultivadas até um tamanho comercial maior.

A Tabela 3.25 apresenta uma comparação entre características dos tanques-rede GV e tanques-rede PV.

Tabela 3.25: Comparação entre características dos tanques-rede GV e tanques-rede PV. (Ono e Kubitza, 1997).

CARACTERISTICAS	TIPO DE TANQUES-REDE	
	GV	PV
Potencial de renovação de água	Pequeno	grande
Biomassa econômica ($Kg \cdot (m^3)^{-1}$)	Menor	maior
Manejo de alimentação	Difícil	fácil
Manuseio do tanque-rede	Difícil	fácil
Despesca dos peixes	Difícil	fácil
Lucro líquido ($R\$ \cdot (m^3)^{-1}$)	Menor	maior

3.5.3 – Construção do tanque-rede

O principio básico do cultivo de peixes em tanque-rede é o confinamento dos peixes em alta densidade com alta remoção de água para manter a qualidade da água dentro do tanque-rede o mais próximo possível da água a sua volta e a rápida e constante renovação dos metabólitos e dejetos produzidos pelos peixes (Ono e Kubitza, 1997).

Os materiais utilizados para a construção do tanque-rede devem apresentar, segundo Ono e Kubitza (1997), as seguintes caracteristicas:

a) mínima resistência a passagem de água;
b) boa resistência física e à corrosão;
c) material leve e de baixo custo;
d) não cause injurias aos peixes;
e) fácil manuseio.

3.5.4 – Formato do tanque-rede

Tanques-rede de formato retangular ou quadrado (cúbicos) são mais eficientes em relação à renovação de água do que tanques-rede de formato cilíndrico, hexagonal ou octogonal. O movimento da água através dos tanques-rede retangulares e quadrados é uniforme,o que facilita a troca de água, já as formas cilíndricas, hexagonais e octogonais tendem a criar uma corrente de água que circunda a superfície externa da unidade ao invés de atravessá-la homogeneamente (Ono e Kubitza, 1997).

3.5.5 – Tamanho da malha

O tamanho da malha usada para confeccionar os tanques-rede deve ser grande o suficiente para reter os peixes do tamanho desejado e ao mesmo tempo ser o maior possível para reduzir o problema de colmatação (entupimento pelo crescimento de algas e outros organismos) (Ono e Kubitza, 1997).

A Tabela 3.26 apresenta os tamanhos de malhas recomendados para a produção de tilápias em tanques-rede em função do tamanho dos peixes.

Tabela 3.26: Tamanhos de malhas recomendados para a produção de tilápias em tanques-rede em função do tamanho dos peixes[1].
(Ono e Kubitza, 1997).

TAMANHO DO PEIXE	TAMANHO DA MALHA (mm)
< 1 g	1 a 5
1 a 15 g	5 a 10
15 a 50 g	10 a 20
50 a 200 g	20 a 25
> 200 g	25 a 30

[1] Malhas pequenas podem ser usadas no caso de tilápias com tamanho superior a 10 g estocadas em alta densidade, porque o peixe faz uma limpeza adequada das malhas.

3.5.6 – Densidade de estocagem

O número de peixes estocados por unidade de volume de tanque-rede pode ser calculado dividindo a biomassa desejada na despesca pelo peso médio final dos peixes. 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 dos peixes pelo alimento e há uma piora na qualidade da água do ambiente (Ono e Kubitza, 1997).

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa experimental se realizou na área da Estação de Tratamento de Esgoto de Samambaia, de propriedade da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), sito a Km 40 da DF 180 – BR 60. Os tanques experimentais localizam-se, de acordo com o Sistema Cartográfico do Distrito Federal (SICAD), Coordenadas UTM X = 162.655,32 e Y = 8.243.150,15; Fuso 23.

Para satisfazer as necessidades experimentais do projeto, foram utilizados três tanques de cultivo e os seguintes laboratórios auxiliares:

a) Laboratório da ETE Melchior: onde foram realizadas as análises físico-químicas

b) Laboratório de Análise de Água da UnB (LAA – UnB): onde foram realizadas análises físico-químicas e bacteriológica.

c) Laboratório da ETEB Norte: onde foram realizadas análises físico-químicas.

d) Laboratório da Faculdade de Agronomia e Veterinária: onde seria analisada a qualidade sanitária dos peixes, caso não houvesse problemas no decorrer da pesquisa.

4.1 – DESCRIÇÃO DA ETE SAMAMBAIA

Segundo Pinto *et al.* (1997), a estação de tratamento de esgoto de Samambaia foi projetada para tratar uma vazão de 512 $L \cdot s^{-1}$ com tempo de detenção hidráulico médio estimado entre 12 e 15 dias e carga orgânica média afluente de 9.720 Kg de $DBO_5 \cdot d^{-1}$, o que equivale a uma população de 180.000 habitantes. A ETE Samambaia trata uma vazão média de 162 $L \cdot s^{-1}$ (dados da CAESB de fevereiro de 2005).

A estação possui um tratamento preliminar composto de uma grade grosseira de abertura de 50 mm, com limpeza manual; Calha Parshall de 1,52 metros (5 pés) dotada de medidor ultra-sônico de nível d'água, para medir a vazão afluente instantânea e acumulada; três conjuntos de grade circular mecanizada, de abertura de 10 mm, com desarenador circular em série com 11 metros de diâmetro, com retirada de material desarenado por sistema air-lift e a classificação por lavador e transportador tipo cremalheira.

Após o tratamento preliminar, o esgoto é submetido a tratamento biológico composto de dois módulos iguais, operando em paralelo. Cada módulo compreende:

(1) Lagoa facultativa com reator anaeróbio de fluxo ascendente interno: o esgoto, após passar pelo tratamento preliminar, é conduzido por caixas de distribuição para o fundo, em fluxo ascendente, do reator anaeróbio existente dentro da lagoa facultativa, com tempo de detenção hidráulico médio de 6 horas nesta unidade. Após passar pelo reator, o esgoto encontra camadas oxidantes, a própria lagoa facultativa, que cobre a parte superior das campânulas, evitando que odores desagradáveis sejam liberados para atmosfera.

A lagoa facultativa tem 240 metros de largura, 350 metros de comprimento e possui duas profundidades. Nos primeiros 80 metros a profundidade é de 3 metros e 1,70 m no restante do comprimento, sendo que a parte mais profunda permite que a unidade funcione como um decantador secundário. A lagoa facultativa foi projetada para um tempo de detenção mínimo de 8 dias, com o objetivo de manter a população de algas e o meio oxidante (Felizatto, 2000).

(2) Lagoa aeróbia rasa de alta taxa de degradação: segundo Pinto *et al.* (1997), cada célula possui 240 metros de comprimento, 240 metros de largura e profundidade de 1 metro, com tempo de detenção hidráulico de 2,6 dias. A agitação introduzida por aeradores somada à pequena profundidade da lagoa permite a maximização do processo de fotossíntese, permitindo as algas que não se movem competir em condições semelhantes com outras algas, pelo substrato e luz solar. Devido ao aumento da fotossíntese, há uma maior produção de oxigênio, aumentando o pH, o que causa uma maior desativação dos organismos patogênicos e uma melhor remoção da matéria orgânica.

(3) Lagoa de polimento com chicanas: a lagoa permite a complementação do tratamento com a redução de algas e patogênicos que não foram eliminados na etapa anterior, a presença de chicanas na lagoa permite a melhor decantação das algas nesta unidade. A relação comprimento/largura nesta lagoa é igual a 16 e tempo de detenção hidráulica de 4 dias (Pinto *et al.,* 1997).

A Figura 4.1 apresenta um fluxograma do sistema de tratamento de esgoto da ETE Samambaia.

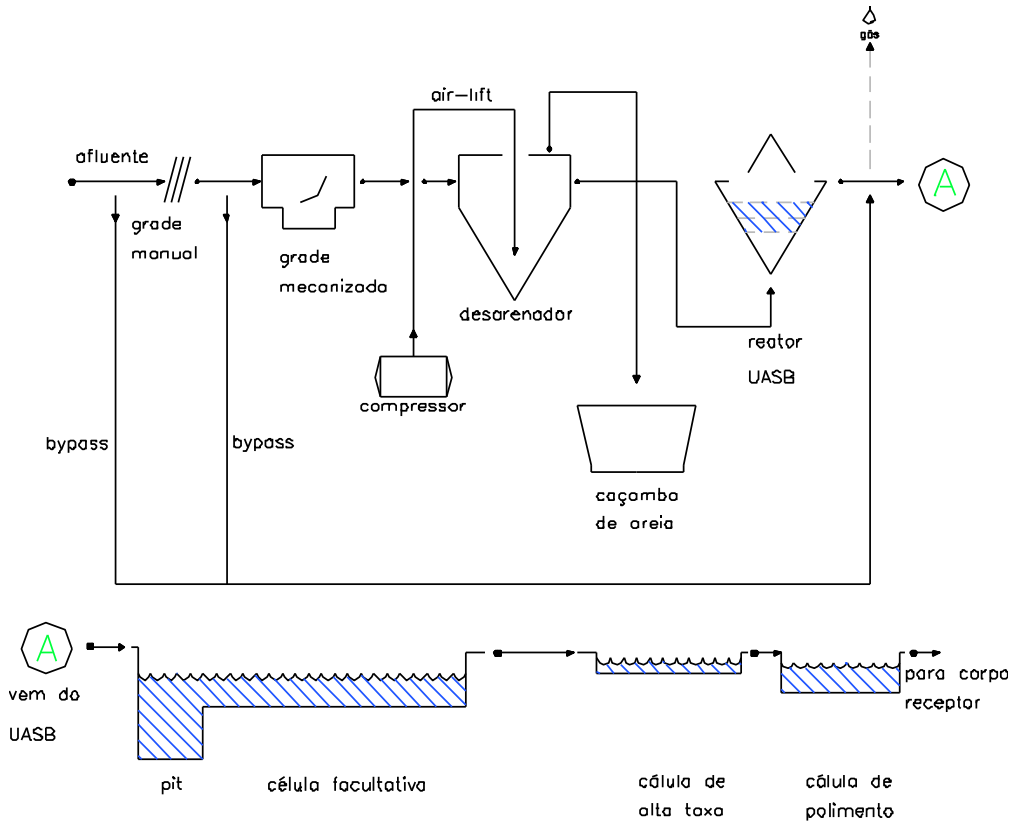


Figura 4.1: Fluxograma do sistema de tratamento de esgoto da ETE Samambaia. (Souza, 2002)

4.1.1 – Monitoramento da estação de tratamento de esgoto

O monitoramento da ETE Samambaia é feito pela própria CAESB, com amostras compostas do efluente, das duas lagoas facultativas, duas lagoas rasas e duas lagoas de polimento, duas vezes por semana a cada duas horas para compor amostras de 24 horas, coletadas manualmente.

No monitoramento são examinados os seguintes parâmetros físico-químicos e bacteriológicos: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Química de Oxigênio filtrada (DQO_f), Sólidos em Suspensão Totais (SST), Nitrogênio Total de Kjeldahl (NTK-N), Nitrogênio Total de Kjeldahl filtrado (NTK_f-N), Amônia (NH_4-N), Nitrito e Nitrato (NO_x-N), Fósforo total (P_t-P), Fósforo total filtrado ($(P_T)_f$-P), Ortofosfato (PO_4-P), Coliformes Fecais (CF ($NMP \cdot 100mL^{-1}$)) e

Clorofila-a. A Tabela 4.1 apresenta os resultados operacionais da ETE Samambaia no período de agosto e setembro de 2005, na lagoa de polimento final.

Tabela 4.1: Resultados operacionais da ETE Samambaia no período de agosto e setembro de 2005, na lagoa de polimento final.

LAGOA DE POLIMENTO FINAL								
	02.08.05	**09.08.05**	**16.08.05**	**23.08.05**	**30.08.05**	**13.09.05**	**20.09.05**	**27.09.05**
pH	7,69	7,82	8,08	7,45	7,58	8,14	8,27	7,92
Alc.	328,00	318,00	300,00	240,00	324,00	252,00	254,00	268,00
DQO (*)	114,00	99,00	143,00	138,00	132,00	84,00	84,00	114,00
DQO_f (*)	82,00	73,00	51,00	60,00	66,00	71,00	53,00	58,00
DBO (*)	52,00	53,00	(***)	70,00	75,00	(***)	76,00	(***)
SS (*)	64,00	46,00	80,00	95,00	84,00	26,00	48,00	66,00
NTK (*)	78,40	65,10	69,44	58,52	40,00	49,00	51,52	56,84
NTK_f (*)	75,46	63,70	61,88	51,38	35,56	46,62	44,80	48,86
NH_4^+ (*)	68,00	63,50	60,00	50,00	34,50	44,50	(***)	45,50
NO_X (*)	0,29	0,50	1,13	6,72	5,70	4,70	(***)	2,40
Pt (*)	10,20	11,20	11,00	9,00	10,80	15,60	(***)	11,00
Pt_f (*)	9,80	10,00	8,60	7,00	8,80	13,60	(***)	9,60
PO_4 (*)	7,90	8,70	7,60	6,20	6,60	10,40	(***)	7,80
CF (**)	(***)	(***)	40,00	(***)	(***)	(***)	210	(***)

(*) $mg \cdot L^{-1}$
(**) $NMP \cdot (100mL)^{-1}$
(***) Valores não constam no relatório.

4.2 – TANQUES PISCICOLAS EXPERIMENTAIS

4.2.1 – Delineamento experimental

A pesquisa se desenvolveu em três tanques de tratamento, sendo dois deles de testemunha. A Tabela 4.2 descreve as características operacionais dos tanques piscícolas.

Tabela 4.2: Características operacionais dos tanques piscícolas.

TANQUES	CULTURA	ALIMENTAÇÃO DE ÁGUA	ALIMENTAÇÃO DE PEIXE
Tanque-experimental (TA)	Com peixes	Efluente tratado	Sem ração
Tanque-testemunha 1 (TB)	Sem peixes	Efluente tratado	Sem ração
Tanque-testemunha 2 (TC)	Com peixes	Água desclorada	Com ração

Com os resultados das análises de água dos três tanques, pretendeu-se avaliar a influência dos peixes no efluente da ETE, o que é possível comparando os resultados dos tanques TA e TB, e comparar também a produtividade e qualidade sanitária dos peixes, tanto no sistema de reúso em piscicultura (TA), quanto na piscicultura convencional (TC).

Devido ao grande tamanho dos tanques, não houve repetições. A Figura 4.2 apresenta uma vista da Unidade de Piscicultura de Samambaia (UPS).

Figura 4.2: Vista da Unidade de Piscicultura de Samambaia (UPS).

4.2.2 – Características físicas dos tanques piscícolas

Os tanques piscícolas experimentais foram escavados no solo, tendo a configuração de tronco de pirâmide invertido, com área na seção mais profunda equivalente a 100 m² (10 x 10 m), 169 m² na área do espelho d'água (13 x 13 m), profundidade total de 1,70 m (borda livre de 0,50 a 1,50 m) e tempo de detenção hidráulico de 15 dias. A área de 100 m², foi decidida baseando-se em pesquisa desenvolvida por Bocek (1996[a]), que afirma ser esta a

área mínima para tanques piscícolas, do ponto de vista econômico e financeiro, visto que valores inferiores a esse causam óbitos aos peixes. Ainda segundo esse autor, o valor de operação de profundidade deverá ser 1 metro.

Dois dos tanques piscícolas (TA e TB) receberam continuamente efluente da Célula de Polimento Final do Módulo I e o terceiro tanque (TC) recebeu continuamente água potável do sistema de abastecimento público da CAESB, sendo que os tanques TA e TB receberam água por meio de tubulação de PVC de 85 mm e o tanque TC por meio de uma mangueira.

Nos tanques TA e TB, a condução do líquido se dá em fluxo por canal aberto por queda livre com altura manométrica em torno de 6 metros de coluna d'água.

O sistema é provido de um registro de gaveta de 85 mm FoFo para controle de vazão e de um canal retangular com a fixação de um vertedor retangular para medir o fluxo.

Como não se conseguiu abastecer o tanque TC com água natural do córrego próximo, optou-se pelo sistema de abastecimento público. Contudo foi necessário fazer a descloração dessa água, processo que se deu enchendo o tanque uma semana antes do início do experimento e deixando-o descansar, o que ocasionou a evaporação do cloro presente na água. Percebeu-se que essa técnica de descloração usada não ocasionou problema aos peixes, pois não se verificou a mortandade. Antes de se estocar os alevinos no tanque, adicionou-se calcário na proporção de 200 $g \cdot (m^2)^{-1}$ (Borges, 2005) na água para elevar o pH.

4.3 – ESTOCAGEM DE PEIXES

Inicialmente, pelo plano original, o experimento duraria 120 dias, o que corresponde a um ciclo de vida da Tilápia do Nilo.

Baseando-se na Tabela 3.24, escolheu-se trabalhar com tilápias macho, revertidas sexualmente; com taxa de estocagem de 2 $peixes \cdot (m^2)^{-1}$ de espelho d'água, tanto para cultivos sem fertilização e alimentação (tanque-experimental – TA) quanto para cultivo com alimentação (tanque-testemunho 2 – TC). Apesar de Bocek (1996[b]) sugerir um peso médio de estocagem de 20 g para cultivo de um único sexo, foram usados alevinos com

peso de estocagem entre 0,5 e 1 g, pois segundo Bastos *et al.* (2003[a]), na fase inicial de crescimento, os alevinos de tilápia encontram-se fisiologicamente mais adaptados para metabolizar alimentos naturais, principalmente devido ao fato da grande capacidade filtradora que essa espécie apresenta. Por esse motivo, escolheu-se trabalhar com alevinos.

No trabalho em questão, a densidade de estocagem máxima admitida para o volume do tanque-rede adotado é de 548 peixes·(tq-rede)$^{-1}$, o que corresponde a cerca de 3 peixes·(m²)$^{-1}$ de área superficial, não tendo implicações o fato de se adotar no experimento uma densidade de estocagem menor.

Os alevinos foram obtidos da Estação de Piscicultura do Governo do Distrito Federal, Granja Ipê (Pró-rural – DDS – Diretoria de Desenvolvimento Rural). Para transportar os alevinos da estação de piscicultura até a ETE Samambaia, foram utilizados sacos de polietileno oxigenados artificialmente, mediante a utilização de oxigênio industrial engarrafados sob pressão.

4.4 – AMOSTRAGEM DE PEIXES

Tanto na coleta de amostras para a realização dos exames biométricos quanto na despesca final dos peixes, a metodologia utilizada na captura adotada foi a de redes de arrasto. Nesse método, a captura é feita abaixando-se o nível do viveiro para que se possa estender a rede em uma das extremidades e arrastá-la levemente até o outro lado, concentrando os peixes em um só local para facilitar a captura.

4.5 – DESCRIÇÃO DA UNIDADE PILOTO DE PISCICULTURA

4.5.1 – Cerca

Com o objetivo de impedir a entrada de pessoas desautorizadas na área dos tanques piscícolas, bem como de animais que possam causar algum transtorno ao experimento foi construída uma cerca de proteção no local.

A cerca é de arame farpado com 8 fios, reforçado por uma tela de abertura, chamada de tela de galinheiro, de 40 x 50 mm e de 1,80 m de largura e protegida por uma tela de

alambrado, objetivando aumentar a proteção da área. Na parte inferior da cerca, foi construído um muro de pedra marroada unida por argamassa de cimento comum.

4.5.2 – Tela de proteção contra ataques de aves

Para impedir a predação dos peixes pelas aves que sobrevoam o local, foi instalada uma tela de proteção nos tanques piscícolas. A tela instalada foi a chamada tela de galinheiro, ocupando toda a área superficial do tanque. Na Figura 4.3 pode ser vista a tela utilizada para cobrir os tanques.

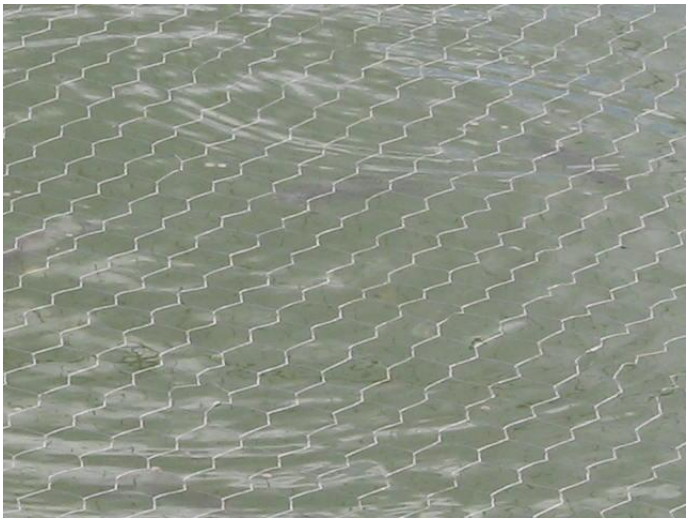


Figura 4.3: Tela de proteção contra ataque de aves que cobriu os tanques TA e TC.

4.5.3 – Canal de distribuição e medidor de vazão

A distribuição da vazão afluente aos tanques alimentados com o efluente da lagoa de estabilização (TA e TB) foi realizada por orifícios submersos de um sistema de alimentação equalizada.

Nos tanques TA e TB há uma caixa no final do canal e foram adaptadas na entrada do tubo, que leva o efluente, duas reduções de PVC de 32 mm. O comprimento e o desnível da tubulação foram os mesmos para os dois tanques.

Para medir a vazão de entrada nos tanques TA e TB, utilizou-se um vertedor, cuja largura é igual a do canal, 29,50 cm. O vertedor foi fixado em um trecho reto, cujo comprimento é

maior a três vezes a largura antes do registro de gaveta a montante e extensão linear maior que uma largura após a curva do canal. O vertedor utilizado foi construído em chapa de aço inoxidável de espessura de 30 mm e é considerado sem contração, pois todo fluxo passa por cima da crista do vertedor.

4.5.4 – Saída do tipo monge

A saída do tipo monge, muito usada no sistema de produção em viveiros adubados, tem o objetivo de descartar a água dos tanques piscícolas com qualidade inferior em termos de oxigênio dissolvido (Felizatto, 2000).

Os monges dos três tanques piscícolas da ETE Samambaia (TA, TB e TC) são localizados na parte externa do tanque, para facilitar a coleta de amostras; além disto, no interior dos tanques há uma tela de proteção, feita de chapa moeda de abertura de 20 mm e, por cima dessa tela, outra, de abertura inferior, feita de metal, para evitar o escape de peixes. Os tanques piscícolas possuem também uma saída de fundo dotada de um registro de 50 mm. A Figura 4.4 apresenta um croqui da saída do tipo monge.

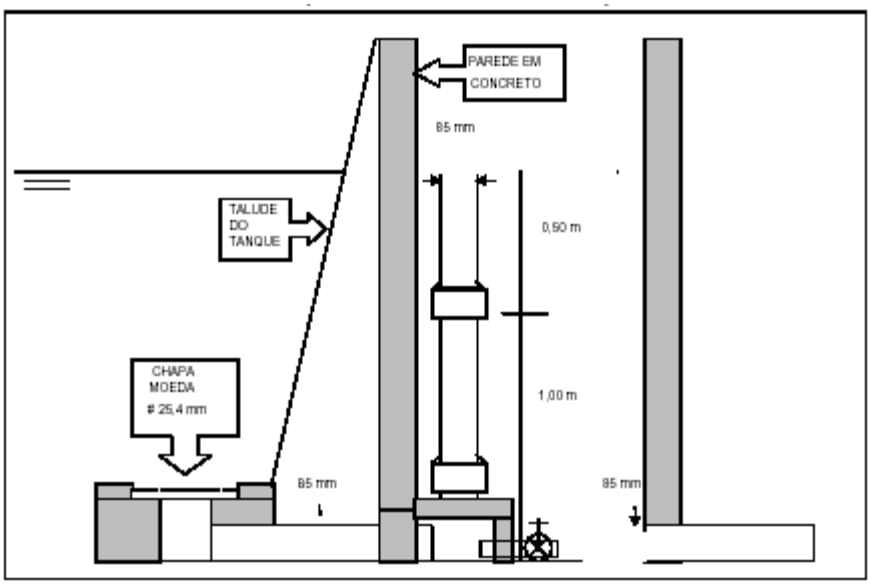


Figura 4.4: Croqui as saída do tipo monge dos tanques da ETE Samambaia vista em corte, sem escala.
(Felizatto *et al.*, 2000).

Nos tanques piscícolas, a saída do efluente, ou saída dos monges, é conduzida até o emissário da estação de tratamento; sendo que os monges possuem escadas laterais, tipo

marinheiro, feitas em ferro galvanizado, que propicia maior segurança ao operador que necessite trabalhar no fundo da caixa. A flexibilidade de controlar a profundidade do nível dos tanques é outra vantagem da saída tipo monge, pois a 20 cm do chão fixado na caixa de fundo há um pedaço de tubo de espera conectando o lado bolsa do tubo nesta espera. Por tudo isto, pode-se operar os tanques com profundidade variando de no mínimo 20 cm até 1,70 m.

A tubulação do monge possui diâmetro de 85 mm e comprimento de 1,30 m, já descontados os 20 centímetros da caixa de fundo.

4.5.5 – Instalação de apoio e laboratório

Na Unidade de Piscultura de Samambaia (UPS) existe um prédio que serve de apoio e mini-laboratório à pesquisa e tem o objetivo de armazenar e proteger os equipamentos e materiais utilizados.

O mini-laboratório possui também duas varandas laterais e duas caixas d'água de 1 m³ para serem realizados os levantamentos biométricos dos peixes, sendo que uma das caixas d'água é utilizada para armazenar os peixes antes da pesagem e a outra quando esses já foram analisados e estão prontos para retornarem ao tanque.

Também foram realizadas análises no laboratório da ETE Melchior, que fica no próximo a ETE Samambaia e da UPS.

4.6 – AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

O sistema foi amostrado duas vezes por semana na entrada e saída dos tanques piscícolas e nos próprios tanques às segundas e quintas-feiras, e coletas diárias foram realizadas nos afluentes, tanques de cultivo para alguns parâmetros físico-químicos.

4.6.1 – Exames e análises físico-químicos

As seguintes análises foram realizadas uma vez na semana: Demanda Química de Oxigênio (DQO); Sólidos Totais (ST); Sólidos em Suspensão Totais (SST); Sólidos Dissolvidos Totais (SDT); Nitrogênio Total de Kjeldahl (NTK).

As analises que foram realizadas duas vezes na semana são: Nitrogênio Amoniacal (NH_4-N); Nitrogênio Nitrato (NO_3-N) e Fósforo Ortofosfato (PO_4-P).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) foi realizada a cada duas semanas.

O controle operacional diário no local foi feito através dos seguintes exames: medidas de transparência com Disco de Secchi; pH; temperatura e da lagoa; Oxigênio Dissolvido (OD) e condutividade. As coletas foram realizadas na superfície e a cada 20 centímetros de profundidade até o fundo dos tanques de cultivos, em apenas um ponto, para as análises de OD e temperatura.

4.6.2 – Análises bacteriológicas

As análises bacteriológicas foram efetuadas para os parâmetros Coliformes Totais e Termotolerantes nas amostras coletadas semanalmente na entrada e saída dos tanques piscícolas.

4.6.3 – Análises biológicas

Mensalmente, foi coletada água na entrada, saída e nos tanques piscícolas para levantamento quantitativo da biomassa por meio da determinação da Clorofila-a.

A Tabela 4.3 apresenta um resumo dos exames que seriam realizados, bem como a metodologia utilizada, o local das coletas das amostras e a freqüência de amostragem.

Tabela 4.3: Parâmetros físico-químicos e microbiológicos a serem analisados no afluente e efluente, nos tanques de piscicultura e nos peixes.

VARIÁVEL ANALÍTICA	METODOLOGIA	CÓDIGO DA ANÁLISE (*)	LOCAL				FREQUENCIA
			Efluente	Afluente	Interior[a] dos Tanques	Peixes	
DBO	Método padrão das diluições sucessivas	5210B	X	X			Quinzenal
DQO	Método calorimétrico	5220	X	X			Uma vez na semana
Sólidos Totais	Gravimétrico	2540B	X	X			Uma vez na semana
Sólidos em Suspensão Totais	Gravimétrico	2540D	X	X			Uma vez na semana
Sólidos Dissolvidos	Gravimétrico	2540C	X	X			Uma vez na semana
Nitrogênio NTK	Digestão com $CuSO_4$+K_2SO_4 em H_2SO_4 concentrado	4500N	X	X	X		Uma vez na semana
Nitrogênio Amoniacal NH_4	Método calorimétrico	4500 NH_3	X	X	X		Duas vezes semanais
Nitrogênio Nitrato NO_3	Método calorimétrico	4500NO_3^-	X	X			Duas vezes semanais
Fósforo Ortofosfato PO_4	Reação com ácido ascórbico	4500P		X			Duas vezes semanais
Coliformes Totais	Método do substrato cromogênico MUG – ONPG/Colilert	9223	X	X			Uma vez na semana

Tabela 4.3, continuação: Parâmetros físico-químicos e microbiológicos a serem analisados no afluente e efluente, nos tanques de piscicultura e nos peixes.

Coliformes Termotolerantes	Método do substrato cromogênico MUG – ONPG/Colilert	9223	X	X		X	Uma vez na semana
pH	Potenciométrico	$4500H^{+}$			X		Diariamente
Temperatura	Termômetros de filamento de mercúrio e termopares	2550			X		Diariamente
Condutividade	Método da resistência elétrica	2510			X		Diariamente
Oxigênio Dissolvido	Método de Winkler	4500°			X		Diariamente
Transparência	Disco de Secchi				X		Diariamente
Clorofila "a"	Extração com metano	10200I	X	X	X		Mensalmente
Salmonella sp,	Técnica da presença/ausência	9260B				X	Ao final do experimento
Clostridium sulfito redutores						X	Ao final do experimento
Mesófilas						X	Ao final do experimento

Nota (*): Utilizada a 20ª edição do Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater.

[a] No meio do tanque e em apenas um ponto.

4.6.4 - Dados biométricos e da análise de qualidade sanitária nos peixes

Os peixes, segundo o plano original, seriam pesados em balança comum e mensurados com fita métrica fixadas em tábuas de madeira. De posse desses dados seriam realizados os cálculos necessários para avaliar os tanques piscícolas. Escolheu-se a técnica de "amostragem", pois ao comparar esta à técnica de seleção periódica dos peixes (Tabela 3.22) a amostragem apresentou-se mais viável, pois não precisa de outros tanques.

No plano original do trabalho, pretendia-se coletar amostras de peixes a cada duas semanas, pela técnica de amostragem, visto que com freqüências inferiores a esta se corre o risco de não se detectar eventuais problemas com o plantel a tempo de solucioná-los (Ostrensky e Boeger, 1996). Contudo, os exames no tanque TA não foram realizados devido a constatação da mortandade geral dos peixes no momento da coleta.

Moscoso *et al.* (1992[b]) realizaram experimentos com densidade de estocagem de 0,2, 1, 3 e 5 peixes·$(m^2)^{-1}$, para cada densidade adotada foram capturados, com rede, amostras equivalentes a 25, 10, 7 e 5%, respectivamente, da população de peixes. Partindo desses dados e utilizando uma densidade de estocagem de 2 peixes·$(m^2)^{-1}$, a quantidade de peixes capturados por amostra no plano original era de de 8,5% do total estocado.

Pretendia-se realizar nos peixes inspeções visuais, para avaliar a aparência dos mesmos, bem como detectar doenças aparentes.

Ao final da safra, pelo plano original, seria avaliado, com a colaboração do Laboratório Integrado de Microbiologia Veterinária, a qualidade sanitária dos peixes como alimento, ou seja, seriam analisadas as prováveis doenças que os peixes poderiam desenvolver, bem como a presença de *Salmonella sp*, Coliformes Fecais, Mesófilas e Clostridium sulfito redutores.

4.7 – ALTERAÇÕES REALIZADAS

Devido a problemas observados no decorrer do experimento e não previstos no plano original, tornou-se necessário fazer algumas adaptações na metodologia original.

Ao se trabalhar com alevinos, observou-se uma grande dificuldade em se ter controle sobre a população de peixes, devido ao fato de ser necessário baixar o nível de água do tanque todas as vezes que fosse realizar os exames biométricos, o que ocasionaria uma modificação na qualidade da água e um grande estresse nos peixes, pois seria utilizada rede de arrasto. Sendo assim, optou-se por utilizar tanques-rede nos dois tanques, até que os peixes atingissem cerca de 25g.

Segundo Teixeira Filho (1991), os tanques apropriados para essa fase são os de pequenas dimensões, onde se vê facilitado o manejo e o criador pode acompanhar o comportamento dos cardumes. Como a concentração de alevinos pode ser maior, dado o menor consumo relativo de oxigênio do que nos casos dos peixes adultos, é preferível que os tanques não ultrapassem 50 m² de área de espelho d'água. Por esse motivo, escolheu-se trabalhar com tanques-rede de pequeno volume, confeccionado com tubo de PVC medindo 1,4 x 1,4 x 0,7 m (1,372 m³), de formato retangular, malha de nylon de 5 mm. A densidade de estocagem adotada nos tanques-rede permaneceu 2 peixes·$(m^2)^{-1}$ de área superficial do tanque piscícola.

Outro problema observado no decorrer do experimento foi a necessidade de aclimatar os alevinos antes que esses fossem transferidos aos seus respectivos tanques.

Para aclimatar os peixes foram usadas três caixas d'água de 1000 L, duas recebiam os peixes que iriam para os tanques piscícolas já separados e, na terceira caixa, era realizada a descloração da água que abastecia as caixas com peixes. A água utilizada era água potável, ou seja, continha cloro, que é tóxico aos peixes.

Sendo assim, havia a necessidade de realizar a descloração, o qual era feito adicionando produto químico apropriado (Aquasafe), na quantidade determinada pelo fabricante.

O volume de água que cada caixa d'água recebia respeitava a proporção de 1 grama de peixe para cada 1 litro de água, sendo assim, antes dos peixes serem transferidos para as respectivas caixas eles eram pesados.

Todos os dias, foi realizada a troca total de água das caixas, mas não a pesagem dos peixes, fase 1 de aclimatação. Esse processo se repetiu por 7 dias consecutivos. Nesse período, os

peixes receberam ração. Após essa fase, os peixes que seriam estocados no tanque TC foram transferidos para o respectivo tanque. Nesse período de aclimatação, mediram-se nas duas caixas o pH, amônia total, oxigênio dissolvido e temperatura.

Os peixes que seriam estocados no tanque TA passaram pela fase 2 do processo de aclimatação, que durou 15 dias. Todos os dias, se retirava 10% de água e se acrescentava a mesma quantidade em esgoto, esse procedimento durou até que 100% da água na caixa fosse esgoto. Nessa fase, a ração que era oferecida aos peixes também foi diminuída na proporção de 10% ao dia. Assim como na fase 1, mediu-se na caixa: pH, amônia, oxigênio dissolvido e temperatura.

Nas duas fases de aclimatação dos peixes, usou-se compressor para aerar as caixas d'água.

4.8 – DESCRIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

4.8.1 – Experimento 1

O experimento 1 teve início no dia 19 de outubro e findou no dia 16 de novembro de 2005. Os alevinos tinham peso variando entre 0,5 e 1 g e tamanho médio de 1 cm. Antes de serem colocados nos referidos tanques, o saco contendo os alevinos ficou imerso em água do próprio tanque para o qual os alevinos seriam transferidos, por cerca de 20 minutos, para facilitar a adaptação. Em seguida, cerca de 340 e 505 alevinos foram transferidos para os tanques TA (tanque que recebeu apenas efluente da ETE, sem alimentação complementar) e TC (tanque com água natural e ração), respectivamente. A escolha de alevinos foi feita aleatoriamente, para isso foi usado um coador doméstico, o qual serviu de rede de pescar. O tanque TC recebeu imediatamente ração para alevinos.

Devido a problemas ocorridos nesse experimento, houve-se a necessidade de iniciar um segundo experimento, denominado experimento 2, com algumas alterações.

4.8.2 – Experimento 2

No dia 08 de dezembro de 2005, deu-se início ao experimento 2, o qual findou dia 25 de janeiro de 2006. Levando-se em consideração que um dos problemas enfrentados no

experimento 1 foi a dificuldade de se ter um maior controle sobre a população de peixes, no segundo experimento optou-se por estocar os alevinos em tanques-rede nos dois tanques, respeitando sempre a densidade estipulada, 2 peixes·$(m^2)^{-1}$ de área superficial, independente do fato de o volume dos tanques-rede suportar uma densidade de estocagem maior.

Os alevinos no experimento 2, possuíam características semelhantes ao alevinos utilizados no experimento 1, inclusive foram adquiridos do mesmo local.

Novamente, problemas foram observados, surgindo a necessidade de corrigi-los com um novo experimento, experimento 3.

4.8.3 – Experimento 3

No dia 21 de fevereiro de 2006, deu-se início ao experimento 3, com a aclimatação dos alevinos, os quais tinham características semelhantes e mesma procedência dos alevinos utilizados nos experimentos anteriores.

Chamou-se fase 1 de aclimatação, o período de 9 dias que os peixes ficaram em reservatórios de água natural recebendo ração. Nessa fase, objetivou-se avaliar a qualidade dos alevinos adquiridos, se mais de 5% do total de peixes morressem nesse período, o lote era considerado inválido.

A fase 2 de aclimatação, que durou 15 dias, foi o período em que todos os dias 10% de água do reservatório era substituída por efluente da ETE, até que o reservatório possuísse 100% de efluente. Nesse período, a ração fui diminuída na mesma proporção (10%), até que os alevinos não recebessem mais ração.

Neste experimento, os peixes foram estocados em dois reservatórios de água, que receberam, respectivamente, 70 e 54 litros de água desclorada, de acordo com o peso total dos alevinos foi de 70 gramas (caixa C1) e 54 gramas (caixa C2), iniciando-se assim a fase 1.

Todos os dias, a água das duas caixas era trocada, fase 1, tomando-se o cuidado de sempre deixar um pouco de água no fundo para que os peixes não ficassem sem água. Esse procedimento se repetiu por 9 dias, no décimo dia, os peixes que seriam estocados no tanque TC (505 alevinos) foram transferidos para o respectivo tanque e se iniciou a fase de adaptação com os peixes que seriam estocados no tanque TA.

4.9 – ACLIMATAÇÃO

4.9.1 – Fase 1

Denominou-se fase 1 a fase em que os alevinos foram estocados em reservatórios com água do sistema de abastecimento público, desclorada pela utilização de produto químico apropriado, para avaliar a qualidade do lote com que se trabalharia.

A proporção de água adotada foi semelhante à utilizada por Souza (2002): para cada grama de peixes, 1 litro de água foi utilizada. A água seria totalmente trocada diariamente e os alevinos alimentados com ração artificial. Durante todo esse período, o reservatório foi aerado, por meio de compressor de ar interligado a mangueiras de plástico.

Decidiu-se que os alevinos seriam estocados por um período mínimo de 7 dias e máximo de 10. Após esse período, se a mortandade do lote fosse inferior a 5%, o lote seria considerado apropriado, caso contrário, novo lote seria adquirido.

Passada a fase 1 e o lote considerado apropriado, os alevinos que seriam estocados no tanque TC foram transferidos para o referido tanque e os peixes que seriam estocados no tanque TA, passaram pela fase 2

4.9.2 – Fase 2

Após a fase 1 os peixes que seriam estocados no tanque TA passaram pela fase 2. Nessa fase, os peixes continuaram no reservatório por um período de 15 dias, só que ao invés de receberem água desclorada nas trocas, todos os dias 10% de água era retirada e acrescentado efluente até que 100% da água no reservatório fosse efluente. A alimentação que os peixes recebiam também foi diminuída na proporção de 10%, a cada dia. Assim

como na fase 1, um compressor aerou a água durante todo o tempo, na fase 2. Findada essa fase, os peixes foram estocados no tanque TA.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 – PARTE EXPERIMENTAL

5.1.1 – Experimento 1

Após 24 horas da estocagem dos alevinos no experimento 1, observou-se a mortandade total dos alevinos no tanque experimental com efluente (TA). Mesmo assim, optou-se por continuar fazendo as análises estipuladas no início, para se descobrir os reais motivos da mortandade.

Com a mortandade total dos peixes do tanque TA e observando que menos de 5% dos peixes estocados no tanque experimental 2 – que recebeu água natural e ração (TC) – morreram, quantidade aceitável na piscicultura convencional, decidiu-se pesar os peixes do tanque TC e dividi-los entre os dois tanques, TA e TC. Dia 29 de novembro de 2005, foi realizada a analise biométrica dos peixes do tanque TC e a divisão entre os dois tanques.

Após a biometria, foram estocados em cada tanque 106 peixes, sendo que os peixes do tanque TA pesavam e mediam, em média, 21 g e 9,4 cm respectivamente, e os que continuaram no tanque TC tinham peso médio de 18 g e mediam cerca de 8,9 cm.

Cerca de 5 dias depois da estocagem dos peixes no tanque TA, observou-se a mortandade total dos peixes.

5.1.2 – Experimento 2

Para iniciar um novo experimento, secou-se completamente os dois tanques que recebiam efluentes da ETE Samambaia (TA e TB – tanque testemunho 1, sem peixes), depois esses tanques foram enchidos, e, então, um novo experimento teve inicio, denominado experimento 2.

No dia 25 de janeiro de 2006, foi realizado o exame biométrico nos peixes e nesse dia, percebeu-se que todos alevinos do tanque TA haviam morrido. O fato de não se ter

percebido essa mortandade antes se deve, provavelmente, ao fato de o tanque esta com uma população excedente de algas, que tomou toda a superfície do tanque e possuía cerca de 1 cm de espessura.

Como no tanque TC a mortandade esteve na faixa considerada normal para a piscicultura, 5%, decidiu-se, mais uma vez, dividir os peixes que se encontravam no tanque, o que foi realizado dia 9 de fevereiro de 2006.

Foram estocados 162 peixes em cada um dos tanques, com peso e comprimento médios de 6 g e 8 cm, respectivamente.

Após as primeiras 96 horas, observou-se uma mortandade de cerca de 70% dos peixes e em 144 horas a mortandade total dos peixes.

5.1.3 – Experimento 3

O experimento 3 foi dividido em duas fases, fase 1 e 2. Na fase 1, apenas 15 alevinos, do total, morreram (1,5%), o que demonstra a qualidade dos alevinos estocados, visto que a mortandade foi inferior a 5%.

Na fase 2, durante todos os dias, uma vez por dia, 10% da água da caixa era substituída por efluente tratado do tanque TA. Essa fase, que se iniciou dia 02 de março de 2006, findou dia 21 do mesmo mês, quando os alevinos foram estocados no tanque TA.

5.2 – RESULTADO DO EXPERIMENTO 2

5.2.1 – Condutividade

Os valores de condutividade medidos, no experimento 2, durante o dia variaram entre 280 e 505 $\mu S \cdot cm^{-1}$ no tanque TA, no tanque TB a variação foi de 210 a 370 $\mu S \cdot cm^{-1}$ e no tanque TC de 35 a 55 $\mu S \cdot cm^{-1}$, conforme é demonstrado na Tabela 5.1 e Figura 5.1.

Tabela 5.1: Resultados de condutividade na superfície dos tanques TA, TB e TC durante o experimento 2.

DATA	CONDUTIVIDADE ($\mu S \cdot cm^{-1}$)		
	TANQUE TA	TANQUE TB	TANQUE TC
13.12.05	311,5	333,9	50,5
14.12.05	433,9	306,5	50,2
15.12.05	414,15	275	50,7
16.12.05	393,2	266,3	48,5
19.12.05	402,2	267	49
20.12.05	389,1	268,3	48,8
21.12.05	348,7	226,3	48,6
27.12.05	319,4	224,6	42,7
28.12.05	338,7	243,8	44,1
29.12.05	282,2	255,1	47,5
30.12.05	281,5	256,1	46,8
05.01.06	291,4	243,4	45,7
06.01.06	298,2	238,7	45
09.01.06	287,3	242,2	46,1
10.01.06	301,7	226,4	37,5
12.01.06	297,8	219,1	37,8
13.01.06	301,9	232,7	38,7
19.01.06	383,2	253,3	45,5
20.01.06	389	261	46,1
23.01.06	394	332,5	40,5
24.01.06	423,5	349,2	42,4

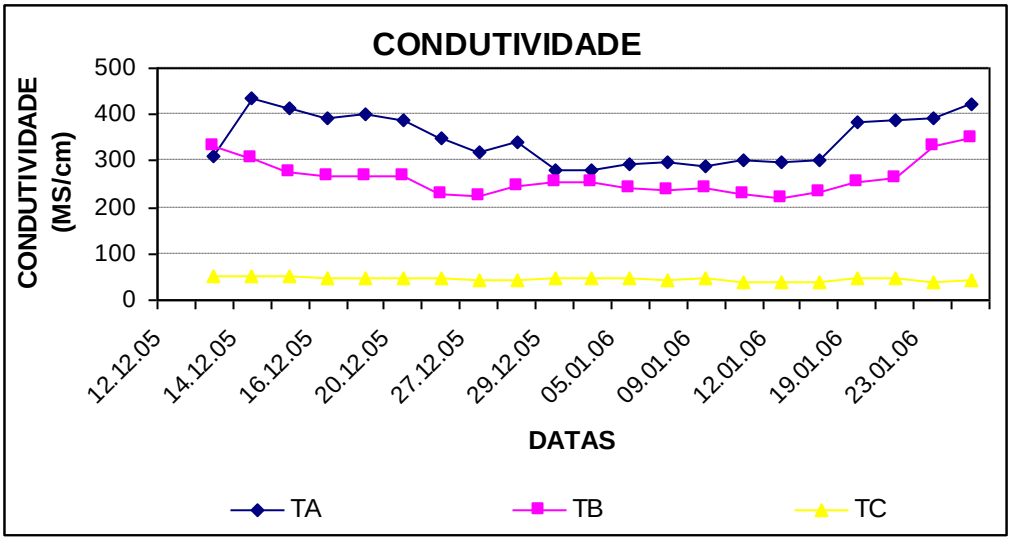


Figura 5.1: Condutividade nos tanques TA, TB e TC no experimento 2.

Pela Figura 5.1 percebem-se pequenas variações nos valores de condutividade no decorrer do experimento, nos três tanques piscicolas (TA, TB e TC). Nota-se ainda que as condutividades nos tanques TA e TB são aproximadas, com pequenas variações, e ambas

são superiores a encontrada no tanque TC. Isso ocorre devido ao fato de que a água que abastece o terceiro tanque (TC) é potável, ou seja, a salinidade é baixa, o que causa uma condutividade baixa.

5.2.2 – Temperatura

Apesar de não ser um parâmetro químico de qualidade da água, a temperatura desempenha um papel importante sobre todos os organismos aquáticos e os demais parâmetros (Arana, 1997).

De acordo com Brett (1957) *apud* Arana, (1997), existe um nível de temperatura no qual a diferença entre atividade e a taxa metabólica é máxima (máximo nível de atividade com uma liberação ótima de energia). Portanto, existe uma temperatura adequada para um crescimento ótimo de uma determinada espécie aclimatada.

Segundo Kubitza (2000), a faixa ideal de temperatura para a sobrevivência de tilápia do Nilo varia entre 13 e 38 ºC, quando aclimatada em temperatura entre 15 e 35 ºC, caso da pesquisa em questão. A Tabela 5.2 e a Figura 5.2 apresentam o comportamento da temperatura na superfície no decorrer do experimento 2.

Tabela 5.2: Valores da temperatura na superfície dos tanques TA, TB e TC no experimento 2.

DATA	TEMPERATURA (ºC)		
	TANQUE TA	TANQUE TB	TANQUE TC
12.12.05	23,5	(*)	(*)
13.12.05	23,1	22,7	23,7
14.12.05	23,2	24,5	23,7
15.12.05	23,9	24,1	24,7
16.12.05	24,2	23,4	23,9
19.12.05	22,3	23,6	24,1
20.12.05	25,7	27,8	26,2
21.12.05	23,0	26,9	25
27.12.05	23,2	23,6	26,6
28.12.05	22,0	23	24,7
29.12.05	22,8	26,2	24,8
30.12.05	22,6	26	25
05.01.06	23,0	25,1	24,8
06.01.06	21,7	22,7	24,8
09.01.06	21,3	23,1	24,4

Tabela 5.2, continuação: Valores da temperatura na superfície dos tanques TA, TB e TC no experimento 2.

10.01.06	23,7	25	24,9
12.01.06	25,6	23,1	26,1
13.01.06	23,3	25,1	24,8
19.01.06	25,8	29,6	26,1
20.01.06	25,8	30,2	27,2
23.01.06	25,2	31,2	29,1
24.01.06	23,4	27,9	26,1

(*) Não foram realizadas medições.

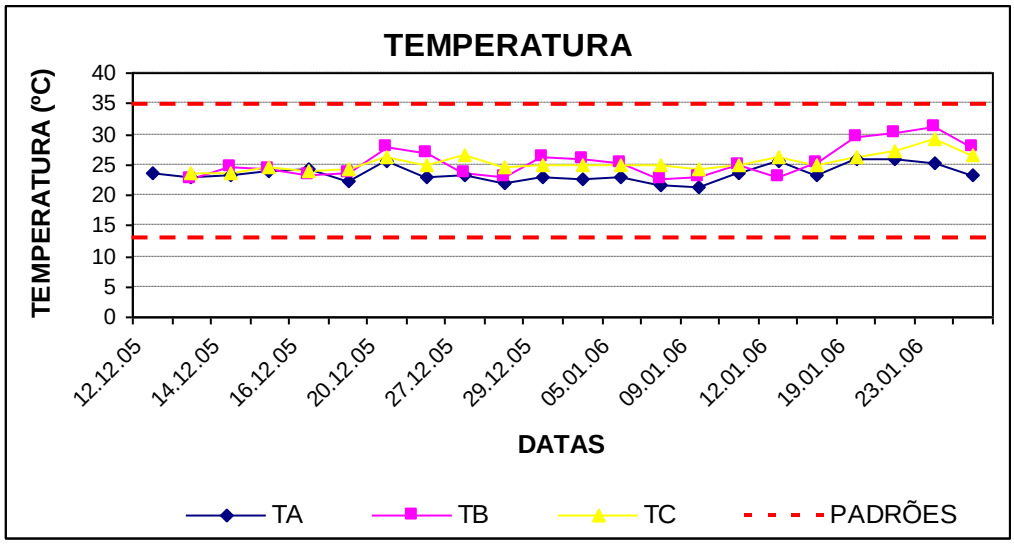


Figura 5.2: Temperatura na superfície nos tanques TA, TB e TC no experimento 2.

Nota-se que na superfície dos tanques piscicolas (TA, TB e TC), as temperaturas são muito semelhantes e a variação ocorrida é bem pequena, na faixa de 20 a 26 ºC na superfície, variação de 6 ºC. Esses valores não são diferentes dos valores encontrados na pesquisa de Felizatto (2000), no período da manhã, nos tanques TA e TB.

Segundo Boyd (1990), lagos e tanques piscícolas podem sofrer estratificação térmica, pois o calor é absorvido mais rapidamente perto da superfície d'água, onde essa água, por ser relativamente mais quente e menos densa, tende a permanecer na superfície. A estratificação ocorre quando a diferença de densidade entre a camada superior e inferior é tão grande que as duas camadas não conseguem se misturar pela ação do vento.

Não diferente do que cita a literatura, pôde-se verificar, pela Tabela 5.3, a estratificação térmica em vários dias durante o experimento. Porém, pelo fato de não ter sido medida a

temperatura durante a noite, não se pode afirmar se o fenômeno ocorreu ou não. Contudo, baseado nas medições realizadas durante o dia e na literatura pesquisada, é provável que o fenômeno da estratificação térmica não tenha ocorrido durante a noite.

Tabela 5.3: Perfil de temperatura no tanque TA.

DATAS	PERFIL DE TEMPERATURA (ºC) NO TANQUE TA						
	SUPERFICIE	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	130 cm
12. 12. 05	23,5	23,5	23,5	23,5	23,5	23,6	23,6
13.12. 05	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1
14. 12. 05	23,2	23,1	23,0	22,9	22,8	22,8	22,8
15. 12. 05	23,9	23,8	23,7	23,5	23,3	23,0	23,0
16. 12. 05	24,2	23,6	22,7	22,6	22,5	22,4	22,4
19. 12. 05	22,3	22,3	22,3	22,2	22,2	22,0	22,0
20. 12. 05	25,7	25,7	21,9	21,8	21,7	21,7	21,7
21. 12. 05	23,0	23,0	22,1	21,9	21,8	21,8	21,8
27. 12. 05	23,2	23,0	22,9	22,7	22,6	22,5	22,4
28. 12. 05	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0
29. 12. 05	22,8	22,0	21,7	21,6	21,6	21,6	21,6
30. 12. 05	22,6	22,2	22,0	21,8	21,6	21,6	21,7
05. 01. 06	23,0	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9	22,9
06. 01. 06	21,7	21,5	21,5	21,5	21,5	21,5	21,4
09. 01. 06	21,3	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2	21,2
10. 01. 06	23,7	21,2	20,8	20,8	20,8	20,8	20,7
12. 01. 06	25,6	21,5	21,1	21,1	21,0	21,0	21,0
13. 01. 06	23,3	21,1	20,9	20,8	20,8	20,7	20,5
19. 01. 06	25,8	24,2	24,0	23,9	23,9	23,9	23,8
20. 01. 06	25,8	24,1	23,6	22,8	22,8	22,7	22,7
23. 01. 06	25,2	23,3	22,6	22,5	22,5	22,3	22,1
24. 01. 06	23,4	23,1	22,8	22,8	22,7	22,7	22,5

Matheus (1993), afirma que, em pesquisa realizada com efluentes de processamento de frutas cítricas, ocorreu o fenômeno de estratificação térmica nos tanques piscicolas. A estratificação diária foi verificada principalmente em dias ensolarados sem vento, sendo mais estável no período da tarde. A estratificação desaparecia à noite, conforme as camadas superiores esfriavam e a água circulava verticalmente.

Situação semelhante ocorreu na pesquisa desenvolvida por Felizatto (2000), quando foi observada nítida estratificação diária nos meses de agosto e setembro, e, conforme as camadas superiores esfriavam e a água circulava verticalmente, a estratificação desaparecia.

Segundo Matheus (1993), o fenômeno da estratificação térmica foi responsável, provavelmente, por transformações na qualidade da água, principalmente em relação às concentrações de oxigênio dissolvido.

Analisando-se a temperatura, de um modo geral, conclui-se que as variações constatadas mantiveram-se na faixa ótima de crescimento e, avaliando-se isoladamente, percebe-se que esse parâmetro não foi relevante na mortandade dos peixes.

5.2.3 – pH

A Tabela 5.4 e a Figura 5.3 apresentam o comportamento do pH na superfície dos tanques no decorrer do experimento 2.

Tabela 5.4: Valores de pH na superfície dos tanques TA, TB e TC no decorrer do experimento 2.

DATA	pH		
	TANQUE TA	TANQUE TB	TANQUE TC
12.12.05	7,79	(*)	(*)
13.12.05	7,57	8,3	8,03
14.12.05	7,69	8,88	8,21
15.12.05	7,8	9,5	8,47
16.12.05	7,9	9,85	8,26
19.12.05	7,4	9,29	8,5
20.12.05	7,57	10,3	9,01
21.12.05	7,47	9,7	8,86
27.12.05	7,49	9,52	9
28.12.05	7,48	8,88	8,81
29.12.05	7,38	10,46	9,28
30.12.05	7,35	10,38	9,25
05.01.06	7,37	10,46	9,32
06.01.06	7,45	10,68	9,5
09.01.06	7,38	10,72	9,61
10.01.06	7,35	10,32	9,1
12.01.06	7,34	10,31	9,2
13.01.06	7,34	10,51	9,01
19.01.06	7,64	10,07	8,89
20.01.06	7,64	9,81	9,01
23.01.06	7,74	9,19	9,03
24.01.06	7,8	8,94	8,56

(*) Não foram realizadas medições.

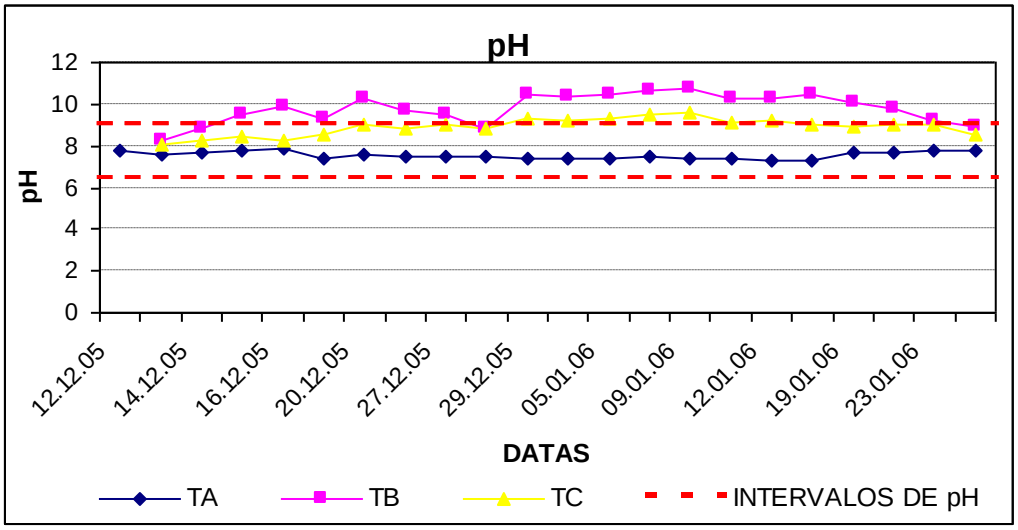


Figura 5.3: Valores de pH na superfície dos tanques TA, TB e TC durante o experimento 2.

Os valores de pH obtidos na pesquisa encontram-se em torno de 7, com pequenas variações, valor considerado ideal para piscicultura. Sendo assim, pode-se afirmar que, de maneira isolada, o pH não contribuiu para a mortandade dos peixes. No tanque TC foi aplicado, no início do experimento, calcário no tanque, com o objetivo de alcalinizar a água. Vale salientar que as medidas se realizaram sempre durante o período da manhã, em torno das 10h.

Felizatto (2000) reporta valores de pH na UPS na faixa de 7,5 a 11, o que, isoladamente, não causa efeito deletério ao metabolismo e ao comportamento biológico dos peixes. Similarmente, Souza (2002) obteve valores médios de pH nos ensaios de toxicidade oscilando entre 6,99 e 8,24, com pequenas variações em relação à faixa ideal para a piscicultura, presumindo-se assim que o pH não contribuiu, de forma isolada, para a mortandade dos peixes.

5.2.4 – Oxigênio dissolvido

A Tabela 5.5 e a Figura 5.4 apresentam os resultados de OD na superfície dos tanques de cultivo.

Tabela 5.5: Valores de OD na superfície dos tanques TA e TC no experimento 2.

DATA	OD ($mg \cdot L^{-1}$)		
	TANQUE TA	TANQUE TB	TANQUE TC (*)
12.12.05	3,1	(**)	(***)
13.12.05	2,03	(**)	6,73
14.12.05	2,97	(**)	7,19
15.12.05	6,12	(**)	7,68
16.12.05	6,41	(**)	6,11
19.12.05	1,67	(**)	7,64
20.12.05	3,45	(**)	8,52
21.12.05	1,85	(**)	8,34
27.12.05	1,94	(**)	8,4
28.12.05	1,17	(**)	7,42
29.12.05	1,77	(**)	9,12
30.12.05	1,86	(**)	9,1
05.01.06	1,67	(**)	8,2
06.01.06	1,56	(**)	7,02
09.01.06	1,47	(**)	6,77
10.01.06	0,89	(**)	8,16
12.01.06	1,04	(**)	8,25
13.01.06	0,79	(**)	8,05
19.01.06	2,01	(**)	8,34
20.01.06	2,61	(**)	7,92
23.01.06	3,45	(**)	7,35
24.01.06	3,09	(**)	6,4

(*) Concentrações de OD na superfície e fundo do tanque TC são semelhantes.
(**) Concentrações de OD no tanque TB iguais as do tanque TA.
(***) Não se mediu OD nesse dia.

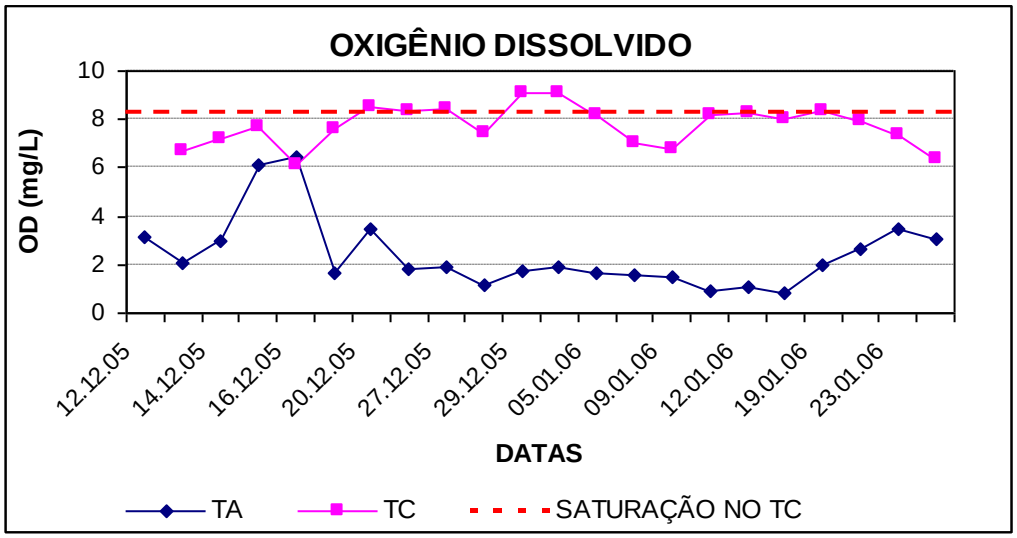


Figura 5.4: Comportamento do OD, na superfície, nos tanques TA e TC, no decorrer do experimento 2.

Pela Figura 5.4, percebe-se que os valores de OD encontrados na superfície do tanque TA eram baixos, dificultando a sobrevivência dos alevinos. Situação diferente da encontrado na superfície do tanque TC, onde os valores de OD encontrados foram elevados, sempre próximos da considerada ideal. No tanque TC, as concentrações de OD na superfície e fundo eram bastante semelhantes, em contra-partida, no tanque TA, os valores diminuíram ao aumentar a profundidade (Tabela 5.6), tal fato se deu, provavelmente, devido à quantidade elevada de algas presente no tanque TA, o que impediu a penetração de luz.

Tabela 5.6: Perfil de OD no tanque TA.

DATAS	PERFIL DE OD ($mg \cdot L^{-1}$) NO TANQUE TA						
	SUPERFICIE	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	100 cm	130 cm
12. 12. 05	3,10	3,09	3,07	3,00	2,98	2,94	2,93
13.12. 05	2,03	1,37	0,95	0,90	0,79	0,74	0,71
14. 12. 05	2,97	1,57	1,14	0,71	0,57	0,55	0,54
15. 12. 05	6,12	5,72	4,90	2,56	1,03	0,52	0,48
16. 12. 05	6,41	4,66	1,30	0,88	0,64	0,55	0,54
19. 12. 05	1,67	1,33	1,05	0,98	0,77	0,60	0,57
20. 12. 05	3,45	1,58	0,67	0,58	0,55	0,53	0,51
21. 12. 05	1,85	1,04	0,68	0,64	0,58	0,55	0,54
27. 12. 05	1,94	1,32	1,00	0,84	0,65	0,47	0,41
28. 12. 05	1,17	0,68	0,58	0,56	0,54	0,53	0,52
29. 12. 05	1,77	0,96	0,79	0,74	0,71	0,68	0,66
30. 12. 05	1,86	1,01	0,81	0,74	0,72	0,68	0,58
05. 01. 06	1,67	0,98	0,87	0,83	0,80	0,78	0,73
06. 01. 06	1,56	1,02	0,97	0,93	0,79	0,72	0,69
09. 01. 06	1,47	0,93	0,81	0,78	0,74	0,71	0,69
10. 01. 06	0,89	0,68	0,62	0,60	0,58	0,56	0,56
12. 01. 06	1,04	0,71	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61
13. 01. 06	0,79	0,65	0,61	0,60	0,57	0,56	0,56
19. 01. 06	2,01	1,89	1,87	1,72	1,70	1,67	1,66
20. 01. 06	2,61	2,32	2,27	2,19	2,17	2,13	2,3
23. 01. 06	3,45	3,33	2,71	2,66	2,64	2,60	2,51
24. 01. 06	3,09	2,96	2,90	2,93	2,89	2,93	2,94

Segundo Felizatto (2000), não foram observadas diferenças de concentração de OD na superfície entre o tanque que continha peixes e o tanque de controle. No primeiro mês do experimento, Felizatto (2000) observou nítida superioridade da concentração de OD na superfície e no fundo do tanque sem peixes, no segundo mês essa diferença foi menor e no mês seguinte, ocorreu a inversão, situação semelhante a encontrada por Matheus (1993), o que não indica qualquer influência da presença de peixes na variação da concentração de

OD. O menor e maior valor registrado, foram, respectivamente, 2 $mg \cdot L^{-1}$ e 21 $mg \cdot L^{-1}$ (Felizatto, 2000).

Nesta pesquisa, os valores de OD registrados estão muito abaixo dos reportados por Felizatto (2000) e dos valores indicados por Boyd (1990). Os valores máximos e mínimos encontrados foram, respectivamente, 6,41 $mg \cdot L^{-1}$ e 0,79 $mg \cdot L^{-1}$ na superfície e 2,94 $mg \cdot L^{-1}$ e 0,48 $mg \cdot L^{-1}$ no fundo, para medidas realizadas apenas durante o dia, no experimento 2.

No tanque TC, a concentração de OD teve pequena variação entre a superfície e o fundo, mantendo-se sempre próxima à saturação (8,2 $mg \cdot L^{-1}$), segundo indicação de Boyd (1990), levando-se em consideração a temperatura média e a salinidade do tanque.

Segundo Matheus (1993), uma variedade de reações biológicas concorre para o consumo de oxigênio em tanque, dentre eles pode-se citar: (1) metabolismo dos peixes; (2) decomposição bacteriana dos resíduos e matéria orgânica adicionada; e (3) respiração do plâncton e bentos. Portanto, matéria orgânica em excesso, caso da pesquisa em questão, pode reduzir a quantidade de OD a níveis criticamente perigosos.

Boyd (1990) e Romaire *et al.* (1978) *apud* Matheus (1993) afirmam que a maioria dos casos de depleção de oxigênio dissolvido em tanques de cultivo de peixes, resultam principalmente das elevadas taxas de respiração noturna ocasionada pela respiração de densas comunidades planctônicas. Sendo assim, é de fundamental importância a manutenção da comunidade fitoplanctônica em níveis adequados, sendo o manejo e controle da biomassa desses organismos um dos principais objetivos da aqüicultura moderna (Boyd, 1990; Sin e Chiu (1982), Costa-Pierce *et al.* (1985) e Smith (1987) *apud* Matheus (1993)).

Segundo Kellner e Pires (1998), um dos problemas que podem ocorrer nas lagoas de peixamento é a mortandade devida à falta de oxigênio dissolvido, ocorrendo quase sempre por um dos seguintes motivos: (1) grande quantidade de matéria orgânica; (2) grande quantidade de peixes; (3) formação de uma camada espessa de algas na superfície, impedindo a distribuição do oxigênio molecular produzido na fotossíntese nas camadas inferiores; (4) considerável gradiente de oxigênio dissolvido entre a superfície líquida e as camadas líquidas logo abaixo.

Durante o experimento, foi observada a formação de uma camada espessa de algas na superfície do tanque TA, o que de alguma maneira pode ter contribuído para a diferença de concentração de OD na superfície e o fundo e de certa forma, influenciado indiretamente na mortandade de peixes.

5.2.5 – Amônia

No experimento 2, a concentração média de amônia no tanque TA foi de 22 $mg \cdot L^{-1}$, com valores máximos e mínimos, respectivamente, de 35 $mg \cdot L^{-1}$ e 9,9 $mg \cdot L^{-1}$, enquanto que no tanque TC os valores estiveram sempre abaixo do estabelecido (0,24 $mg \cdot L^{-1}$). A Figura 5.5 apresenta os valores de amônia no tanque TA, no decorrer do experimento 2.

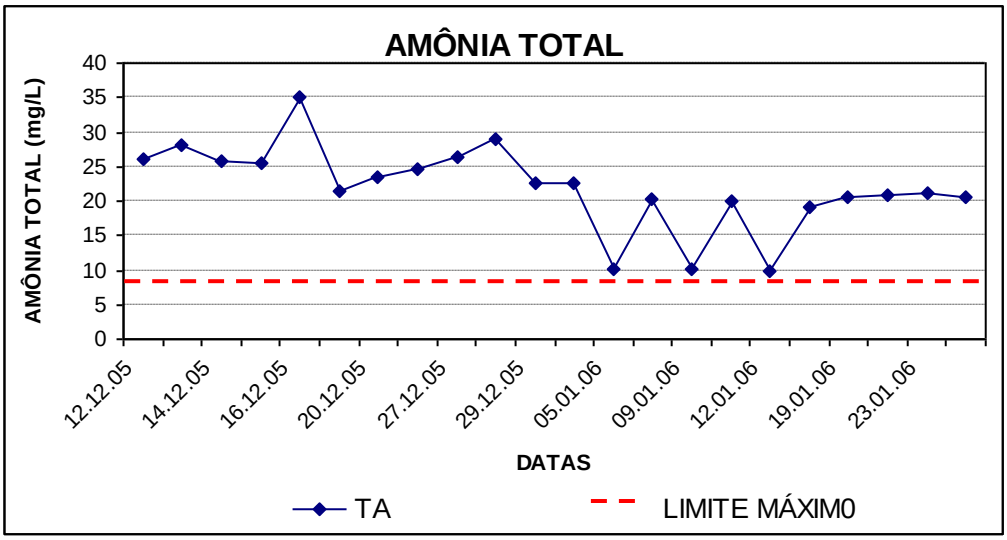


Figura 5.5: Concentração de amônia total no tanque TA no decorrer do experimento 2.

Percebe-se que os valores de amônia total no tanque TA são bastante elevados e acima do que é indicado por Buras *et al.* (1987) – 8 $mg \cdot L^{-1}$.

Segundo Matheus (1993), a mortandade de peixes ocorrida nos tanques de monocultivo de carpas no experimento utilizando efluente de processamento de frutas cítricas deve estar relacionada com o impacto causado pela somatória de alguns fatores, entre eles a forte depleção de oxigênio dissolvido nos períodos noturnos e a liberação pelo sedimento de grandes quantidades de amônia e outros produtos tóxicos em determinadas ocasiões.

Na pesquisa desenvolvida por Matheus (1993), o sistema de policultivo foi mais eficiente na remoção de nitrogênio inorgânico pelos menores valores de NO_2^-, NO_3^- e NH_4^+ encontrados. Os valores mais elevados do nitrogênio total podem ser explicados pela maior incorporação de nitrogênio orgânico e células de organismos planctônicos, o que comprova a influência benéfica dos peixes para a manutenção de um sistema ecológico mais equilibrado, com reflexos positivos sobre a qualidade da água (Matheus, 1993).

Segundo Felizatto (2000), o valor mediano de amônia presente na amostra bruta foi de 8,11 $mg \cdot L^{-1}$, o que ocasionou a mortandade total das carpas prateadas e um índice de 14% de sobrevivência das tilápias do Nilo. Também foi registrada maior concentração amoniacal no Tanque 1 (com peixes) quando comparado ao Tanque 2 (sem peixes), o que pode ser atribuído à excreção liberada pelos peixes.

Souza (2002) reporta que os valores médios da concentração de amônia a 100% de esgoto nos reservatórios piscicolas na UPS ficaram entre o mínimo de 6,38 $mg \cdot L^{-1}$ e o máximo de 17,83 $mg \cdot L^{-1}$, valores superiores aos limites recomendados para a prática de piscicultura. De forma isolada, a amônia foi um fator bastante restritivo, pois pode ter contribuído para o estresse e morte dos peixes, entretanto, mesmo com esses teores desfavoráveis de amônia, o efluente não apresentou toxicidade nos ensaios realizados.

Utilizando-se a fórmula de Thurston *et al.* (1981), pôde-se calcular o valor médio da amônia não-ionizada (NH_3) no tanque TA que foi de 0,45 $mg \cdot L^{-1}$, com valores máximos de 1,44 $mg \cdot L^{-1}$ e mínimos de 0,13 $mg \cdot L^{-1}$. A Tabela 5.7 apresenta os valores da amônia total e não-ionizada no decorrer do experimento 2 e na Figura 5.6 é demonstrado o comportamento da amônia não ionizada.

Tabela 5.7: Valores de amônia total e amônia tóxica, calculado, no tanque TA no experimento 2.

DATA	AMÔNIA TOTAL ($mg \cdot L^{-1}$)	AMÔNIA TÓXICA ($mg \cdot L^{-1}$)
12.12.05	26	0,79
13.12.05	28,2	0,51
14.12.05	25,7	0,66
15.12.05	25,5	0,82
16.12.05	35	1,43
19.12.05	21,45	0,25
20.12.05	23,5	0,51

Tabela 5.7, continuação: Valores de amônia total e amônia tóxica, calculado, no tanque TA no experimento 2.

21.12.05	24,7	0,35
27.12.05	26,5	0,40
28.12.05	29	0,40
29.12.05	22,7	0,26
30.12.05	22,6	0,24
05.01.06	10,05	0,11
06.01.06	20,2	0,25
09.01.06	10,2	0,10
10.01.06	20	0,23
12.01.06	9,9	0,13
13.01.06	19,2	0,21
19.01.06	20,5	0,52
20.01.06	21	0,54
23.01.06	21,2	0,65
24.01.06	20,5	0,64

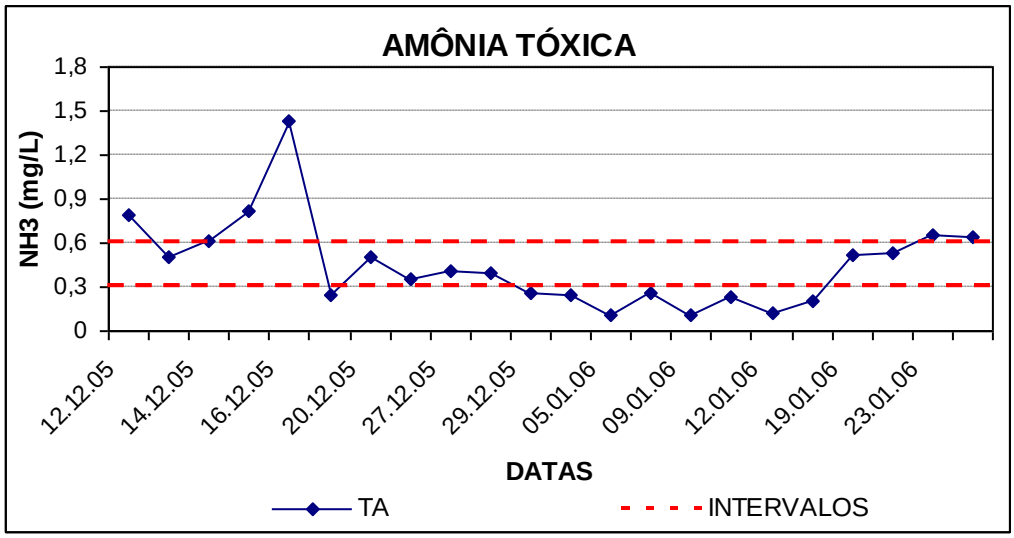


Figura 5.6: Concentração de amônia tóxica (NH_3) no tanque TA no decorrer do experimento 2.

Observa-se, pela Figura 5.6, que as concentrações de amônia não-ionizada no tanque TA encontram-se nos limites determinados por Buras *et al.* (1987) - NH_3 – N: 0,3 – 0,6 $mg \cdot L^{-1}$ - com pequenas variações.

Percebe-se, na Figura 5.5, que as condições de amônia total são bastante desfavoráveis para a criação de peixes, o que pode ter ocasionado a mortandade total dos alevinos. E que, apesar da amônia não-ionizada (Figura 5.6) encontrar-se, na maioria das vezes, dentro da

faixa indicada para piscicultura, a baixa concentração de oxigênio dissolvido pode ter contribuído para aumentar a toxicidade do composto.

5.2.6 – Coliformes totais e termotolerantes

Coliformes termotolerantes são indicadores de sobrevivência de bactérias patogênicas e vírus (Stratuss, 1991). A OMS recomenda padrões de coliformes termotolerantes na ordem de 10^4 NMP.$(100mL)^{-1}$, uma ordem de magnitude abaixo dos resultados encontrados em pesquisas realizadas por Moscoso e Muñoz (1991) e Moscoso (1998).

Strauss (1991) *apud* Leon e Moscoso (1996) afirma que a contaminação dos músculos dos peixes se dá quando esses estão sendo cultivados em tanques com densidade de coliformes termotolerantes superior a 10^4 NMP.$(100mL)^{-1}$, sendo que a contaminação é proporcional ao tempo de contato. Contudo, em concentrações inferiores a 1000 NMP.$(100mL)^{-1}$ na água não há possibilidade de acúmulo de organismos entéricos e agentes patogênicos no interior do tecido comestível do peixe. Segundo Moscoso (1998 e 2002), não foi detectada a presença de bactérias e vírus patogênicos em peixes cultivados em águas tratadas com níveis de coliformes termotolerantes inferiores a 10^4 NMP·$(100mL)^{-1}$.

A Tabela 5.8 e a Figura 5.7 apresentam as concentrações de coliformes termotolerantes nos tanques TA, TB e TC, no decorrer do experimento 2.

Tabela 5.8: Valores de coliformes termotolerantes nos tanques TA, TB e TC no experimento 2.

DATA	E. COLI (NMP·100mL^{-1})			
	AFLU	TA	TB	TC
24.10.05	310	100	100	(*)
31.10.05	435,2	133,4	111,2	(*)
14.11.05	65,7	35,9	98,8	2
12.12.05	435,2	73	(*)	0
19.12.05	517,2	45,9	(*)	3
26.12.05	272,3	38,4	648,8	1
02.01.06	71,9	(*)	(*)	2
09.01.06	307,6	(*)	(*)	1
16.01.06	107,6	27,9	(*)	1

(*) Não foram realizadas medições.

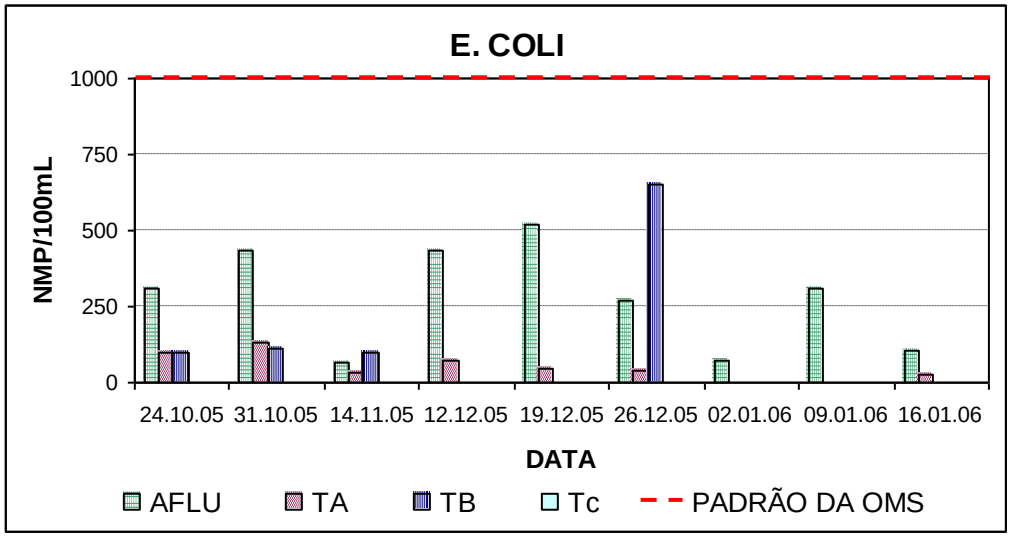


Figura 5.7: Concentrações de coliformes termotolerantes nos tanques TA, TB e TC, no decorrer do experimento 2.

Na pesquisa desenvolvida por Felizatto (2000), as concentrações de coliformes totais e termotolerantes foram bem inferiores aos valores máximos admitidos pelos padrões para reúso de água em piscicultura, contudo, não se verificou a diminuição desses dois parâmetros, contrariando a literatura consultada, que afirma que os peixes atuam no sentido de reduzir as concentrações de coliformes totais e termotolerantes.

Similarmente ao citado por Felizatto (2000), as concentrações de coliformes termotolerantes encontradas tanto no afluente quando no efluente dos três tanques (TA, TB e TC) estão abaixo dos valores recomendados pelas OMS (10^4 NMP.(100mL)$^{-1}$ no efluente), como pode ser observado no Figura 5.7, o que se pode concluir que, para esse parâmetro, a qualidade da água da ETE Samambaia é satisfatória para criação de peixes.

5.2.7 – Clorofila-a, sólidos suspensos e transparência

Segundo Henderson (1979) *apud* Felizatto (2000), a provável influência dos peixes na qualidade da água em experimentos desenvolvidos foi a remoção adicional de sólidos suspensos. Segundo o mesmo autor, a presença de peixes fitoplanctófagos manteve a concentração mediana de sólidos suspensos em torno de 17 mg·L^{-1}, valor duas vezes menor que o usual em lagoas de estabilização sem peixes.

Matheus (1993) relata que no tanque controle (sem peixes), houve aumento da porcentagem relativa de organismos maiores de zooplacton (crustáceos), enquanto nos demais tanques onde foram estocados peixes, a porcentagem relativa de crustáceos decresceu, sugerindo que foram eliminados através da predação.

Em experimento desenvolvido com efluente de processamento de frutas cítricas, não se observou a diminuição significativa, mesmo no policultivo, da concentração de clorofila-a e sólidos suspensos, diferenças pouco acentuadas entre os tanques foi observada. Aparentemente, o controle apresentou concentrações menores de clorofila-a, principalmente nos primeiros meses de cultivo, entretanto em todos os tanques a concentração de clorofila-a apresentou grandes oscilações durante o período de estudo (Matheus, 1993).

Felizatto (2000) afirmou que no experimento desenvolvido na UPS, as concentrações de clorofila-a apresentaram grandes variações, principalmente os dados referentes à amostra do efluente do Tanque 1 (com peixes). Com os resultados, Felizatto (2000) concluiu que a presença de peixes exerce influência positiva na qualidade da água para esses dois parâmetros, ou seja, o hábito alimentar dos peixes fez com que houvesse uma tendência a remoção de clorofila-a e sólidos suspensos, o que reforça a característica filtradora dos peixes. A remoção provocada pela presença de peixes no Tanque 1 foi em média de 12% para sólidos suspensos e de 15% para clorofila-a.

A Tabela 5.9 apresenta os resultados de clorofila-a, sólidos suspensos e transparência, nos tanques TA e TC.

Tabela 5.9: Resultados de clorofila-a, sólidos suspensos e transparência nos tanques TA e TC.

TA			TC		
S.S. ($mg \cdot L^{-1}$)	Tranparência (cm)	Clorofila-a ($mg \cdot L^{-1}$)	S.S. ($mg \cdot L^{-1}$)	Tranparência (cm)	Clorofila-a ($mg \cdot L^{-1}$)
50	10,7	*	2	130	*
104	8,4	*	2	130	*
48	10,6	211,2	6	130	7,92
30	10,1	76,56	14	130	13,2

(*) Não havia amostra a ser coletada.

Nesta pesquisa, observou-se a relação existente entre os sólidos suspensos, clorofila-a e transparência (Tabela 5.7). Pelo fato da mortandade dos peixes ter ocorrido sempre nas primeiras 24 horas do experimento, não foi possível constatar a influência dos peixes na qualidade da água.

5.2.8 – DQO

Matheus (1993) afirma que houve influência positiva na remoção de matéria orgânica ocorrida na qualidade do efluente de tanques com peixes, a variável mais influenciada foi a DQO filtrada. Felizatto (2000) reporta que para as variáveis DBO_5 e DQO total e filtrada não existiu influência positiva ou negativa da presença de peixes em tanques alimentados com efluente de lagoa de maturação. O que se pode concluir, segundo o autor, que o reúso em piscicultura tem a vantagem de não causar impacto negativo ao meio ambiente. A Tabela 5.10 apresenta os resultados de DQO no afluente e efluente dos tanques TA, TB e TC.

Tabela 5.10: Resultados de DQO no afluente e efluente dos tanques TA, TB e TC.

Afluente	Efluente TA	Efluente TB	Efluente TC
182	150	220	*
204	217	277	*
236	177	295	21
207	168	273	14
133	84	*	7
55	53	*	22
184	72	170	12

Não havia amostra a ser coletada.

Semelhante ao ocorrido no experimento de Felizatto (2000), não se verificou qualquer diferença na qualidade da água (Tabela 5.8), tal situação pode ter ocorrido pelo fato dos alevinos terem morrido logo após o início do experimento. Percebe-se também que a DQO encontrada no efluente do tanque TB é superior quando comparado aos valores encontrados em TA. Tal fato se deve, provavelmente, ao fato do tanque TA ter sido secado e limpo antes do início do experimento e o tanque TB, não.

5.3 – EXPERIMENTO 3: ACLIMATAÇÃO

No experimento 3, inseriu-se a fase de aclimatação, a qual foi dividida em duas fases, denominadas 1 e 2.

Os peixes foram estocados em dois reservatórios de água, denominados C1 e C2. O reservatório C1 continha os alevinos que seriam transferidos para o tanque TC, sendo assim, esses alevinos se submeteriam a fase 2. No reservatório C2, foram estocados os alevinos do tanque TA, os quais passariam pelas duas fases de aclimatação (fase 1 e 2).

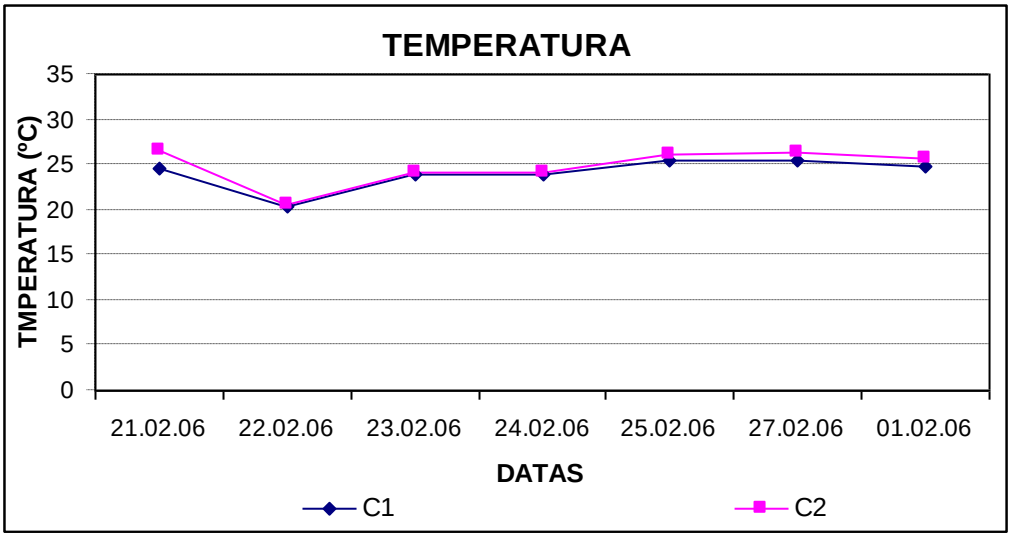
5.3.1 - Temperatura

Na fase 1 de aclimatação, a temperatura sempre esteve na faixa entre 15 e 35ºC, considerada ótima para a criação da tilápias do Nilo. As Tabelas 5.11 e 5.12 e as Figuras 5.8 e 5.9 apresentam o comportamento da temperatura nas fases 1 e 2, respectivamente.

Tabela 5.11: Valores de temperatura na fase de aclimatação, no experimento 3.

DATA	TEMPERATURA (ºC)	
	C1	C2
21.02.06	24,60	26,5
22.02.06	20,30	20,60
23.02.06	24,00	24,10
24.02.06	23,90	24,20
25.02.06	25,40	26,10
27.02.06	25,50	26,40
01.03.06	24,80	25,80

Legenda:
C1: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TC, os quais passariam apelas pela fase 1 de aclimatação.
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.



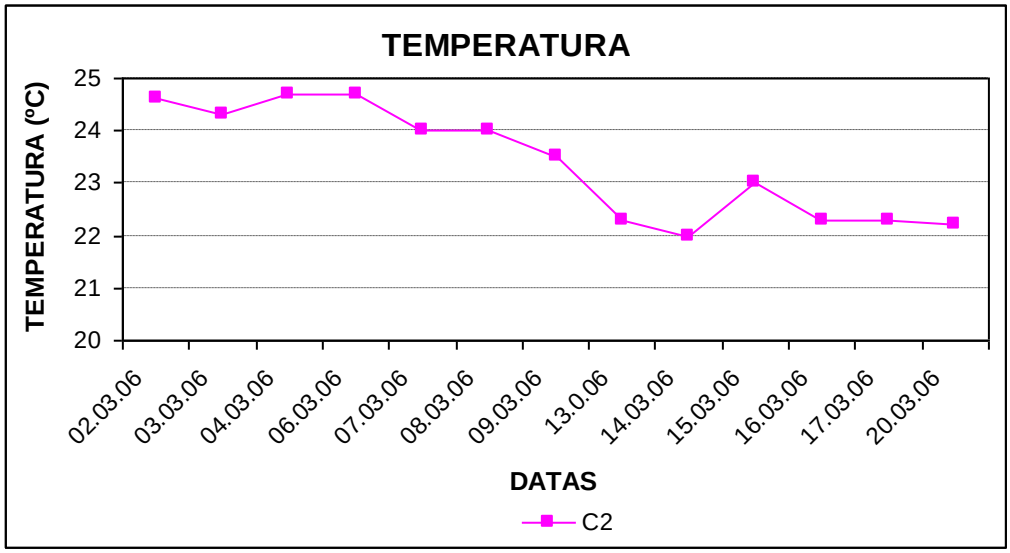
Legenda:
C1: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TC, os quais passariam apelas pela fase 1 de aclimatação.
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.

Figura 5.8: Temperatura na fase de aclimatação, no experimento 3.

Tabela 5.12: Valores de temperatura na fase de adaptação, no experimento 3.

DATA	TEMPERATURA (ºC)
	C2
02.03.06	24,60
03.03.06	24,30
04.03.06	24,70
06.03.06	24,70
07.03.06	24,00
08.03.06	24,00
09.03.06	23,50
13.03.06	22,30
14.03.06	22,00
16.03.06	23,00
15.03.06	22,30
17.03.06	22,30
20.03.06	22,20

Legenda:
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.



Legenda: C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.

Figura 5.9: Temperatura na fase de adaptação, no experimento 3.

Observando-se as Figuras 5.8 e 5.9, conclui-se que as temperaturas nas duas fases são boas para a criação de tilápias do Nilo. Na fase 1, a temperatura média foi de cerca de 22ºC, em ambos os reservatórios, e na fase 2 esse valor foi em torno de 23ºC. Esses valores são semelhantes aos reportados por Souza (2002), cuja média foi de 20,5ºC e a maior, 29,98ºC e a variação mais significativa das medidas foi de 4,48ºC.

5.3.2 – pH

Os valores de pH na fase 1 (Tabela 5.13 e Figura 5.10) estiveram sempre dentro dos valores recomendados para a prática de piscicultura. Na fase 2, em alguns momentos, os valores de pH superaram o que se recomenda, contudo, não foi observada mortandade de nenhum alevino nesses momentos (Tabela 5.14 e Figura 5.11).

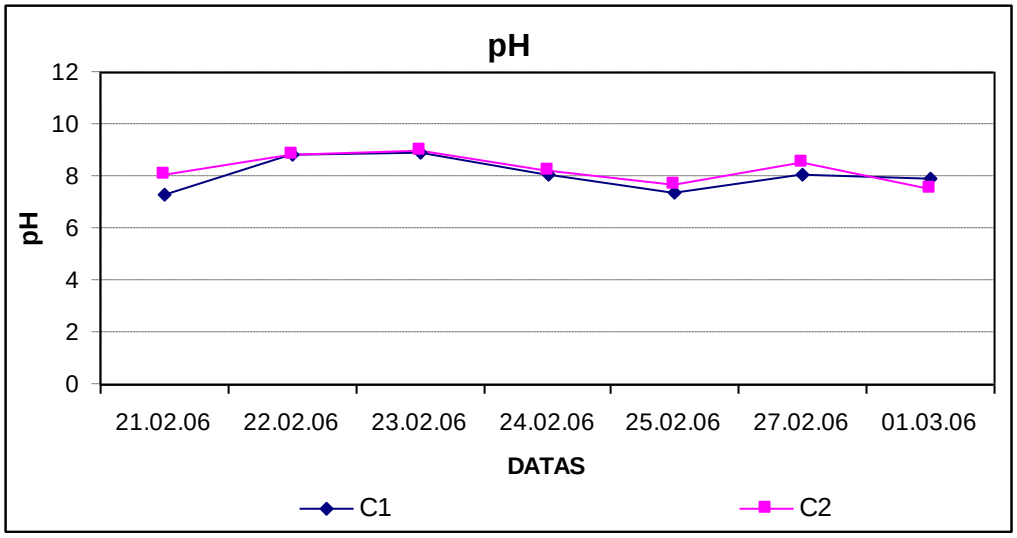
Tabela 5.13: Valores de pH na fase de aclimatação, experimento 3.

DATA	pH	
	C1	C2
21.02.06	7,31	8,08
22.02.06	8,87	8,82
23.02.06	8,90	8,98
24.02.06	8,05	8,21

Tabela 5.13, continuação: Valores de pH na fase de aclimatação, experimento 3.

25.02.06	7,36	7,71
27.02.06	8,10	8,54
01.03.06	7,90	7,54

Legenda:
C1: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TC, os quais passariam apelas pela fase 1 de aclimatação.
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.



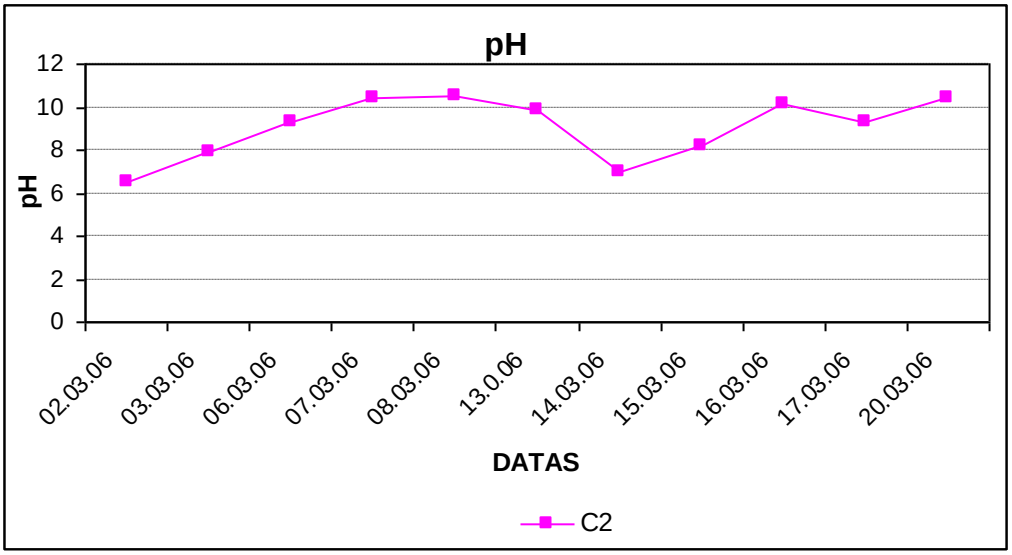
Legenda:
C1: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TC, os quais passariam apelas pela fase 1 de aclimatação.
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.

Figura 5.10: Comportamento do pH na fase de aclimatação, experimento 3.

Tabela 5.14: Valores de pH na fase de adaptação, experimento 3.

DATA	pH
	C2
02.03.06	6,52
03.03.06	7,92
06.03.06	9,34
07.03.06	10,39
08.03.06	10,52
13.03.06	9,88
14.03.06	6,98
16.03.06	8,14
15.03.06	10,18
17.03.06	9,33
20.03.06	10,41

Legenda:
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.



Legenda:
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.

Figura 5.11: Comportamento do pH na fase de adaptação, experimento 3.

As Figuras 5.10 e 5.11 apresentam o comportamento do pH nas duas fases do experimento 3. Diferentemente do reportado por Souza (2002), os valores de pH estiveram entre 7 e 9 na fase 1 (Figuras 5.10) e na fase 2 (Figura 5.11) os valores variaram entre 6 e 10,2, valores superiores ao reportado por esse autor. Contudo, nas duas fases, não se verificou a mortandade de alevinos.

5.3.3 – Oxigênio Dissolvido

No decorrer da fase 1, as concentrações de oxigênio estiveram sempre acima da saturação, exceto em poucos períodos (Tabela 5.15 e Figura 5.12). Na fase 2 (Tabela 5.16 e Figura 5.13), a concentração de oxigênio foi ainda mais elevada.

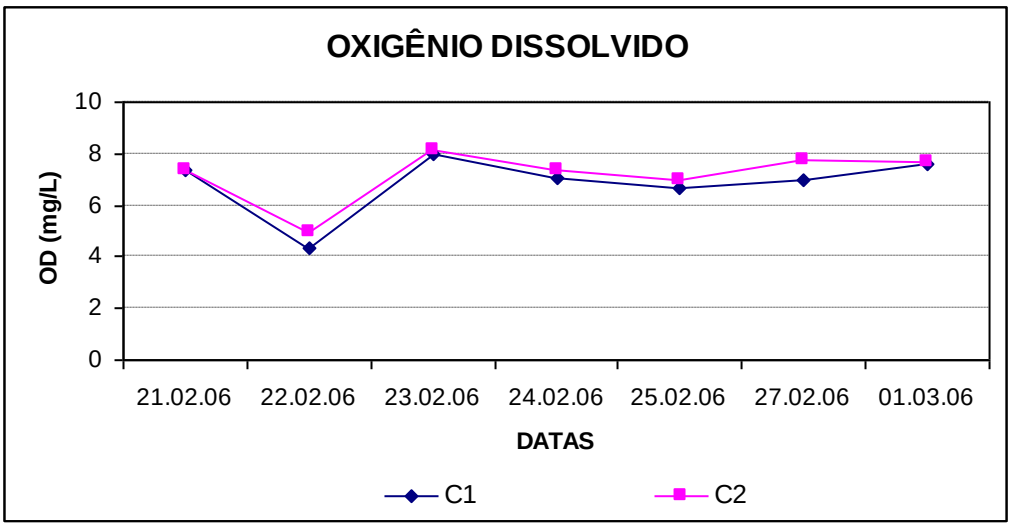
Tabela 5.15: Concentrações de oxigênio dissolvido na fase de aclimatação, experimento 3.

DATA	OXIGÊNIO DISSOLVIDO ($mg \cdot L^{-1}$)	
	C1	C2
21.02.06	7,35	7,34
22.02.06	4,34	4,96
23.02.06	8,00	8,12
24.02.06	7,05	7,33

Tabela 5.15, continuação: Concentrações de oxigênio dissolvido na fase de aclimatação, experimento 3.

25.02.06	6,70	7,01
27.02.06	6,95	7,77
01.03.06	7,60	7,65

Legenda:
C1: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TC, os quais passariam apelas pela fase 1 de aclimatação.
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.



Legenda:
C1: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TC, os quais passariam apelas pela fase 1 de aclimatação.
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.

Figura 5.12: Concentrações de oxigênio dissolvido na fase de aclimatação, experimento 3.

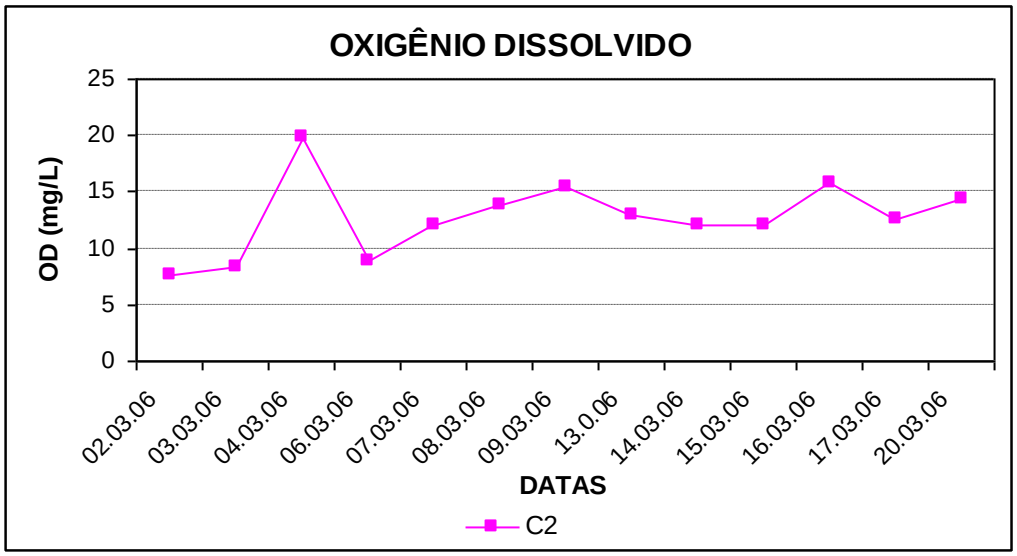
Tabela 5.16: Concentrações de oxigênio dissolvido na fase de adaptação, experimento 3.

DATA	OXIGÊNIO DISSOLVIDO ($mg \cdot L^{-1}$)
	C2
02.03.06	7,69
03.03.06	8,30
04.03.06	19,92
06.03.06	8,86
07.03.06	12,10
08.03.06	13,75
09.03.06	15,43
13.03.06	12,92
14.03.06	12,08
16.03.06	11,98
15.03.06	15,82

Tabela 5.16, continuação: Concentrações de oxigênio dissolvido na fase de adaptação, experimento 3.

17.03.06	12,58
20.03.06	14,30

Legenda:
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.



Legenda:
C1: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TC, os quais passariam apelas pela fase 1 de aclimatação.
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.

Figura 5.13: Concentrações de oxigênio dissolvido na fase de adaptação, experimento 3.

Devido ao funcionamento constante de aeradores, a concentração de OD nos dois reservatórios de água foi elevada. Na fase 1 (Figura 5.12) a concentração esteve sempre acima de 4 $mg \cdot L^{-1}$ e na fase 2 (Figura 5.13), acima de 5 $mg \cdot L^{-1}$, o que não ocasionou morte dos alevinos.

Nos experimentos desenvolvidos por Souza (2002), os teores medidos nos aquários variaram entre 0,53 e 11,51 $mg \cdot L^{-1}$, apesar da grande variação, não se observou grandes mortandades nas espécies testadas.

Entretanto, no momento em que os peixes foram transferidos para o tanque TA, a concentração de oxigênio no tanque era de apenas 0,5 $mg \cdot L^{-1}$, o que, provavelmente ocasionou a mortandade total dos alevinos.

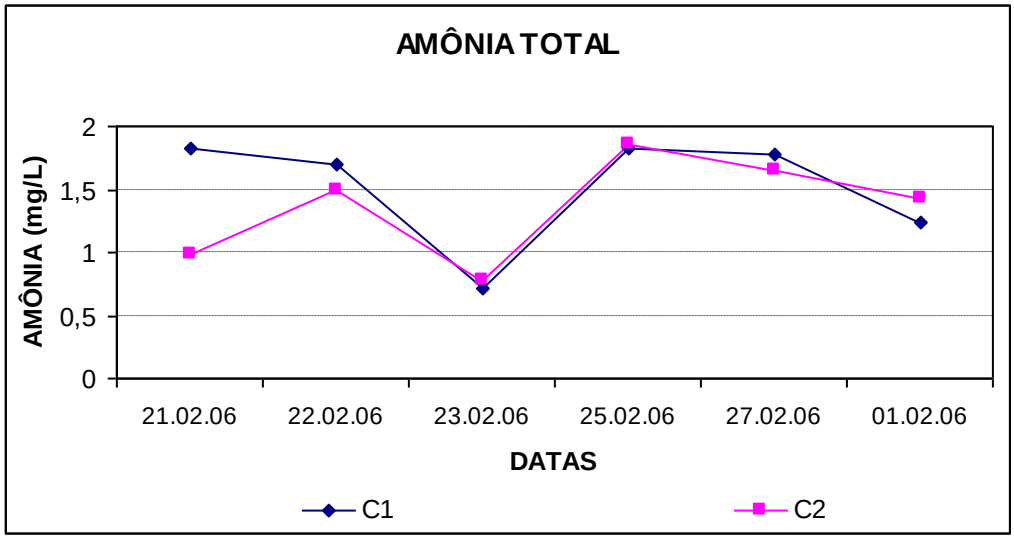
5.3.4 – Amônia

Os valores de amônia encontrados na fase 1 (Tabela 5.17 e Figura 5.14) estiveram sempre abaixo de 2 $mg \cdot L^{-1}$, com média de 1,52 $mg \cdot L^{-1}$ e 1,37 $mg \cdot L^{-1}$, na C1 e C2, respectivamente. Valores esses superior ao reportado por Bastos *et al.* (2003), cujo os valores médios afluente e nos três tanques foram, respectivamente, 2,95 $mg \cdot L^{-1}$, 0,38 $mg \cdot L^{-1}$, 0,48 $mg \cdot L^{-1}$ e 0,60 $mg \cdot L^{-1}$.

Tabela 5.17: Valores de amônia na fase de aclimatação, no experimento 3.

DATA	AMÔNIA ($mg \cdot L^{-1}$)	
	C1	C2
21.02.06	1,83	0,99
22.02.06	1,70	1,50
23.02.06	0,71	0,77
25.02.06	1,83	1,86
27.02.06	1,78	1,65
01.03.06	1,24	1,43

Legenda:
C1: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TC, os quais passariam apelas pela fase 1 de aclimatação.
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.



Legenda:
C1: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TC, os quais passariam apelas pela fase 1 de aclimatação.
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.

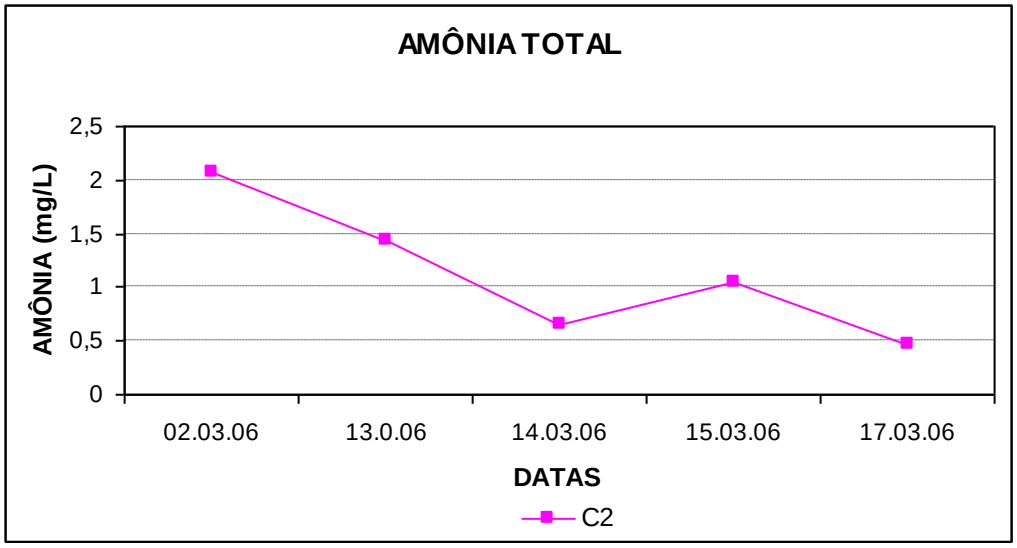
Figura 5.14: Valores de amônia na fase de aclimatação, no experimento 3.

Na fase 2 (Tabela 5.18 e Figura 5.15), os valores de amônia também foram elevados quando se comparado aos reportados por Bastos *et al.* (2003). Contudo, isso não causou mortandade de nenhum alevino. A Tabela 5.16 e a Figura 5.15 apresentam os valores de amônia na fase 2.

Tabela 5.18: Valores de amônia na fase de adaptação, experimento 3.

DATA	AMÔNIA ($mg \cdot L^{-1}$)
	C2
02.03.06	2,08
03.03.06	1,43
06.03.06	0,66
07.03.06	1,05
08.03.06	0,46

Legenda:
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.



Legenda:
C2: reservatório de água que continha os alevinos a serem estocados no tanque TA, os quais passariam pelas duas fase de aclimatação.

Figura 5.15: Valores de amônia na fase de adaptação, experimento 3.

Pelas Figuras 5.14 e 5.15 percebe-se que, na fase 1 (Figura 5.14) a concentração de amônia variou entre 0,7 e 1,8 $mg \cdot L^{-1}$ e na fase 2 (Figura 5.15) essa variação foi de 0,5 a 2 $mg \cdot L^{-1}$, valores esses sempre abaixo do indicado por Buras *et al.* (1987) – 8 $mg \cdot L^{-1}$. Em nenhuma das duas fases percebeu-se a mortandade dos peixes.

Segundo Souza (2002), os valores médios de amônia a 100% de esgoto variaram entre 6,38 e 17,83 $mg \cdot L^{-1}$, o que segundo o autor, foi um fator bastante restritivo e pode ter contribuído para o estresse e morte dos peixes. Contudo, o efluente não apresentou toxicidade nos ensaios realizados.

No dia da transferência dos alevinos para o tanque TA, a amônia no tanque era de 18 $mg \cdot L^{-1}$, o que, juntamente com a baixa concentração de oxigênio, foi a causa da mortandade total dos alevinos, em menos de 24 horas.

6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo inicial do trabalho era avaliar as diferenças que poderiam existir entre a piscicultura convencional e o reúso em piscicultura, levando-se em consideração tanto o crescimento e qualidade dos peixes como a melhoria na qualidade final do efluente utilizado. Contudo, problemas de sobrevivência da tilápia desviaram o foco inicial do estudo.

Esperava-se concluir que uma das causas principais da mortandade de tilápias do Nilo, que ocorreu na pesquisa desenvolvida por Felizatto (2000), tivesse sido causada principalmente por aves predadoras que sobrevoavam o local.

Outro resultado esperado era que os peixes influíssem positivamente na qualidade da água. Esperava-se que as concentrações de sólidos suspensos e clorofila-a sofressem uma diminuição, que os peixes estocados nos tanques se alimentassem desses organismos, sendo uma alternativa de pós-tratamento.

Era esperada uma produtividade piscícola, no mínimo, semelhante aos obtidos na piscicultura convencional e que os peixes apresentassem qualidade sanitária satisfatória. No início da pesquisa, supunha-se que os peixes criados no efluente da ETE Samambaia tivessem crescimento semelhante aos peixes criado na piscicultura convencional e que a qualidade sanitária dos peixes fosse considerada satisfatória, pois a qualidade bacteriológica do efluente da ETE Samambaia se enquadra nos padrões propostos pela OMS (coliformes termotolerantes $\leq 10^4$ NMP·(100mL)$^{-1}$).

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

1) Os alevinos de tilápia do Nilo apresentaram mortandade total, sempre nas primeiras 24 horas de experimento. Por esse fato, pode-se concluir que, nas condições de operação desta pesquisa, o cultivo dessa espécie torna-se inviável, sendo necessárias modificações na operação do processo.
2) Durante a pesquisa não se percebeu a predação dos peixes por aves, concluindo-se que a presença de cobertura na superfície do tanque piscícola é importante e evita que as aves que sobrevoam o local tenham influência no resultado final da pesquisa. Não se

notou, também, que a tela tenha influído, positiva ou negativamente, na qualidade da água, o que torna indispensável seu uso.

3) A elevada concentração de amônia total durante todo o experimento sempre foi superior aos limites máximos estabelecidos para a criação de tilápias do Nilo. Ao final, se concluiu que presença de amônia total em valores tão elevados (média de 22 $mg \cdot L^{-1}$) foi determinante para a mortandade total da espécie.
4) Os valores de oxigênio dissolvido medidos na superfície do tanque TA de manhã, durante toda a pesquisa, foram bem baixos, com média de 2,4 $mg \cdot L^{-1}$, sendo a concentração máxima e mínima de OD, respectivamente, 6,41 $mg \cdot L^{-1}$ e 0,80 $mg \cdot L^{-1}$ e no momento da transferência dos peixes o valor era de 3,1 $mg \cdot L^{-1}$. Essa baixa concentração, apesar de se enquadrar nos valores citados na literatura, influiu de maneira positiva para a mortandade total dos alevinos de tilápia do Nilo.
5) A concentração média de amônia não-ionizada foi de 0,45 $mg \cdot L^{-1}$, valor dentro da faixa considerada aceitável para a piscicultura. Apesar da concentração de amônia não-ionizada não ter sido elevada, a presença desse composto pode ter contribuído para a morte dos peixes.
6) Os parâmetros pH, temperatura e condutividade se comportaram, durante toda a pesquisa, de maneira considerada aceitável para a criação de tilápias do Nilo. Dessa forma, pouco influíram de maneira direta na morte dos alevinos.
7) As condições bacteriológicas do esgoto afluente aos tanques piscícolas encontram-se dentro dos padrões recomendados pela OMS e adotados pelo Brasil. Dessa forma, pode-se concluir que a criação de peixes nesse efluente não causaria problemas sanitários aos peixes e não influiu de maneira alguma na mortandade dos peixes.

A partir dos resultados obtidos no decorrer desta pesquisa, algumas alterações e ajustes são propostos para o desenvolvimento de trabalhos futuros. Sendo assim, recomenda-se:

1) Os resultados obtidos no experimento 3 demonstraram que as fases de aclimatação e adaptação são relevantes para a caracterização do lote com que se pretende trabalhar e que, se aprimorada, pode contribuir para a melhor adaptação dos peixes em condições adversas, evitando a mortandade dos peixes.
2) Quanto mais jovem os alevinos forem, mais fácil a adaptação, porém mais difícil a sobrevivência deles a condições diferentes. Sendo assim, recomenda-se realizar a transferência dos alevinos para o tanque piscicola com efluente quando esses tiverem com maior idade e peso, ou mesmo quando se encontrarem na fase juvenil.

3) Variar o tempo de detenção hidráulico, para se ter um afluente com menores teores de amônia total e maiores concentrações de OD
4) Quando o afluente dos tanques piscícolas apresentar qualidade que não permita a sobrevivência dos peixes estocados, sugere-se diluir esse afluente com efluente terciário (baixa concentração de nitrogênio, fósforo e algas) da própria estação de tratamento de esgoto, objetivando melhorar a qualidade da água utilizada para a criação dos peixes.
5) Ao se perceber que a concentração de OD é inferior à necessária para proporcionar a sobrevivência dos peixes, recomenda-se o uso de aeradores nos tanques piscícolas.
6) Medir perfil de oxigênio dissolvido e temperatura durante o dia e a noite.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

APHA - AWWA - WPCF (1999). "Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater". American Public Health Association 20ª Edition (CD-Rom), Washington DC.

Anderson, J. M. (1996). "Current water recycling initiatives in Australia: scenarios for the 21st century." *Water Science & Technology*, 33 (10-11), 37-43.

Arana, L. V. (1997). "Principios Químicos da Qualidade da Água em Aqüicultura: uma Revisão para Peixes e Camarões." Editora da UFSC, Florianopolis, SC, Brasil, 166p.

Asano, T. e Levine, A. D. (1996). "Wastewater Reclamation, Recycling and Reuse: Past, Present and Future." *Water Science and Technology*, 33 (10-11), 1-14.

Asano, T.; Maeda, M. e Takaki, M. (1996). "Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation examples." *Water Science and Technology*, 34 (11), 219-226.

Azevedo, A. D. P.; Barbirato Júnior, L.; Silva, N. L. e Elias, V. F. (1993). "Peixamento de Lagoas Facultativas". *17⁰ 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.

Bahri, A. e Brissaud, F. (1996) "Wastewater reuse in Tunisia: Assessing a national policy." *Water Science & Technology*, 33 (10-11), 87-94.

Bastos, R. K. X. e Marques, M. O. (2003). "Utilização de Esgoto Tratado em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura – Uma Análise Crítica". In: Bastos, R. K. X. *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 247-253.

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". *28º Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental*. AIDIS - Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Anais do Congresso, Cancun, México, 8p.

Bastos, R. K. X.; Pereira, C. M.; Pivelli, R. P.; Lapolli, F. R. e Lanna, E. A. T. (2003[a]). "Utilização de Esgoto Sanitário em Piscicultura" In: Bastos, R. K. X. *Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura*. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 193-223.

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". *22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais do Congresso, Joinville, SC, Brasil, 20p.

Bocek, A. (1996[a]). "Introduction to fish culture in ponds." International Center for Aquaculture and Aquatic Environments - Auburn Universty, Alabama, USA. Homepage - www.ag.auburn.edu.

Bocek, A. (1996[b]). "Introduction to Tilapia culture." International Center for Aquaculture and Aquatic Environments - Auburn Universty, Alabama, USA. Homepage - www.ag.auburn.edu.

Bontoux, J. e Courtois, G. (1996). "Wastewater Reuse for Irrigation in France." *Water Science and Technology*, 33 (10 – 11), 45-49.

Borges, A. M. (2005). Comunicação pssoal.

Boyd, C. E. (1990). "Water Quality in Ponds for Aquaculture." Alabama Agriculture Experiment Station, 482p.

Branco, S. M.; Bernardes, R. S. e Matheus, C.E. (1985). "Produção de alimentos, aproveitamento energético e reciclagem de nutrientes em um sistema ecológico de tratamento de resíduos orgãnicos". *Revista DAE*, 45 (143), 390-394.

British Broadcasting Corporation (BBC). Disponível em: http://www.bbc.co.uk/ Acesso em 29.01.05 às 21h.

Buras, N.; Duek, L.; Niv, S.; Hepher, B. e Sandbank, E. (1987). "Microbiological aspects of fish grown in treated wastewater". *Water Research*, 21, (1) 1-10.

CEPIS (1998). "HDT 37: Aspectos Sanitarios de la utilizacion de aguas residuales y excretas en la agricultura y acuicultura - La declaración de Engelberg (Signosis)". OPAS - Organización Panamericana de la Salud (OMS - Organizacion Mundial de la Salud). Homepage - www.cepis.org.pe

Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Disponível em: http://www.caesb.df.gov.br/sisesg.asp Acesso em 13.02.05 às 22:25 h.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB). Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/gesta_escassez.asp Acesso em 28.01.05 às 22h.

CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos). (2003). Resolução sobre reúso de água Documento nº 4 - reúso na aqüicultura.

Crook, J. (1993). "Critérios de qualidade da água para reuso." *Revista DAE*, vol 53, nº 174, nov./dez., 10-18.

Crook, J. e Surampalli, R. (1996). "Water reclamation and reuse criteria in the U.S." *Water Science and Technology*, 33 (10-11), 451-462.

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/ .

El-S Easa, M.; Shereif, M. M.; Shaaban, A. I. e Mancy, K. H. (1995). "Public Health implications of waste reuse for fish production". *Water Science and Technology*, 32 (11), 145-152.

El-Gohary, F.; El-Hawarry, S.; Badr, S. e Rashed, Y. (1995). "Wastewater Treatment and Reuse for Aquaculture". *Water Science and Technology*, 32 (11), 127-136.

Erickson, R. J. (1985). "An Evaluation of Mathematical for the Effects of pH and Temperature on Ammonia Toxicity to Aquatic Orgabisms". *Water Research*, 19, (8) 1047-1058.

Faby, J. A.; Brissaud, F. e Bontoux, J. (1999). "Wastewater Reuse in France: Water Quality Standards and Wastewater Treatment Technologies." *Water Science and Technology*, 40 (4 – 5), 37-42.

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.

Felizatto, M.R.; Starling, F.L.R.M. e Sousa, M.A.A. (2000). "Reúso de água em piscicultura: Análise da possibilidade de aplicação de efluente de Lagoas de Estabilização em Série". *XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Anais em CD-Rom, Porto Alegre, RS, Brasil, 27p.

Fundação De População Das Nações Unidas. Disponível em: http://esa.un.org/unpp/ Acesso em: 28.01.05 às 22:30h.

Garbossa, L.H.P. (2003). "Desenvolvimento e Avaliação de Sistema de Leito Fixo – Reator Misto Radial Seguido de Reator Anóxico Horizontal – para Remoção de Matéria Orgânica e de Nitrogênio de Esgoto Sanitário". Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 100p;

Haarhoff, J. e Van der Merwe, B. (1996). "Twenty-five years of wastewater reclamation in Windhoek, Namíbia." *Water Science & Technology*, 33 (10-11), 25-35.

Hammer, M. J. (1979). "Sistemas de Abastecimento de Água e Esgoto", Tradução de S. A. S. Almeida. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1ª edição, Rio de Janeiro, Brasil.

Hespanhol, I. e Prost, A. M. E. (1994). "WHO Guidelines and National Standards for Reuse and Water Quality." *Water Research*, 28 (1), 119-124.

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*. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais do Congresso (CD-Rom), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 3434-3441.

IRCWD NEWS (1985). "Heath Aspects of Wastewater and Excreta Use in Agriculture and Aquaculture: The Engelberg Report". World Health Organization (WHO) - International Reference Centre for Wastes Disposal (IRCWD), Nº 23, December, 11-18.

Kellner, E. e Pires, E. C. (1998). "Lagoas de Estabilização: Projetos e Operação". ABES, Rio de Janeiro – RJ, 244p.

Kubitza, F. (2000). "Tilápia - Tecnologia e Planejamento na Produção Comercial". Editora ACQUA & IMAGEM, Jundiaí - SP, 285p.

Léon, G. e Moscoso, J. (1995). "Uso el de Aguas Residuales Tratadas Potencialidades y Limitaciones". CEPIS - Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS - Organização Pan-Americana de Saúde, Lima, Peru, 11p.

Léon, G. e Moscoso, J. (1996). "Curso de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales". CEPIS - Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS - Organização Pan-Americana de Saúde, Lima, Peru, 151p.

Lima, A. O. (1996). “Promessa de lucro que virou realidade”. *Revista Brasileira de Agropecuária*. Ano I – nº 12.

Maeda, M., Nakada, K., Kawamoto, K. e Ikeda, M. (1996). “Area-wide use of reclaimed water in Tokio, Japan.” *Water Science & Technology*, 33 (10-11), 51-57.

Mancuso, P. C. S. e Santos, H. F. (2003). “Reúso de Água”. Editores – Barueru – S.P.: Manole, 579p.

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.

Matheus. C. E. (1984). “Aspectos de crescimento e reprodução de *Sarotherodon niloticus* (Tilápia do Nilo) em lagoas de estabilização e sua influência no tratamento biológico”. Dissertação de Mestrado, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil, 148p.

Matheus, C.E. (1985). "Utilização de peixes em águas residuárias - uma revisão bibliográfica". *Revista DAE*, 45 (143), 383-385.

Matheus, C.E. (1986). "A tilápia do Nilo (*Sarotherodon niloticus*) – um peixe de características desejáveis para ser utilizado em ambientes organicamente poluídos". *Revista DAE*, 46 (145), 169-170.

Matheus, C.E. (1993)."Policultivo de peixes em efluentes de Indústrias de Processamento de Frutas Cítricas e efeitos na qualidade da água". Tese de Doutorado, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, 375p.

Matheus, C. E.; Povinelli, J. e Aguiar, V. R. (1997). "Sistema ecotecnologico de policultivo de peixes e tratamento de resíduos agroindustriaias". *VIII Seminário Regional de Ecologia*. Anais do Congresso Volume III, São Carlos, SP, Brasil, 377-390.

Matheus, C. E.; Povinelli, J.; Tundisi, J. G. e Aguiar, V. R. (1998). “Ecotechnological system involving polyculture of fishes and industrial wastewater treatment”. *Verhandlungn International Verein. Limnology*, 26, 2276-2279.

Metcalf & Eddy (1991). “Wastewater Engineering - Treatment, Disposal e Reuse”. 3ª Edição. Editora McGraw-Hill Inc, 1334p.

Metcalf & Eddy (1993). “Wastewater Engineering - Treatment, Disposal e Reuse”. 4ª Edição. Editora McGraw-Hill Inc, 2530p.

Moscoso, J. (1998). "Acuicultura com aguas residuales tratadas en las Lagunas de Estabilización de San Juan, Lima, Perú". *26^{0} Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental*. AIDIS - Asociación Interamericana de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. Lima, Peru, Anais do Congresso (CD-Rom), 21p.

Moscoso, J. (2002). "Casos Prácticos de Uso de Águas Residuales". CEPIS - Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPAS - Organizacion Panamericana de la Salud (OMS - Organización Mundial de la Salud). Homepage - www.cepis.org.pe

Moscoso, J. C. e Muñoz, A. F. (1991). "Reuso en Acuicultura de las Aguas Residuales Tratadas en las Lagunas de Estabilizacion de San Juan. Sección I: Resumen Ejecutivo, Lima Peru". CEPIS – Centro Pamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 35p.

Moscoso, J.; Léon, 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 Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS - Organização Pan-Americana de Saúde, Lima, Peru, 70p.

Moscoso, J.; Nava, H. e Munõz, 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 Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS - Organização Pan-Americana de Saúde, Lima, Peru, 71p.

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 Tecnica, Economica y Social." CEPIS - Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS - Organização Pan-Americana de Saúde, Lima, Peru, 78p.

Mota, S. (2003) "Reaproveitamento de Resíduos". In: _____. *Introdução à Engenharia Ambiental*. ABES. Rio de Janeiro, RJ, 2003. 367-405.

OMS (1973). "Aprovechamento de efluentes: Métodos y medidas de protección sanitaria en el trataminento de aguas servidas - Informe de una Reunión de Expertos de la OMS". Organizacion Mundial de La Salud - Série de Informes Tecnicos N° 517, Ginebra, Suiza, 70p.

OMS (1989). "Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura - Informe de un Grupo Científico de la OMS". Organizacion Mundial de La Salud - Série de Informes Tecnicos N° 778, Ginebra, Suiza, 90p.

Ono, E. A. e Kubitza, F. (1997). "Técnicas de produção de peixes em tanques-rede". Piraciccaba, SP, Brasil, 34p.

Ostrensky, A. e Boeger, W. (1996). "Manejo de peixes durante o cultivo". *Revista Brasileira de Agropecuária*. Ano I – nº 12.

Pinto, M.A.T., Neder, K.D.; Felizatto, M.R. e Luduvice, M.L. (1997). "ETE Samambaia - dos projetos à prática dos novos conceitos no processo de tratamento de esgotos por Lagoas de Estabilização". *19^{0} Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária*. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais do Congresso (CD-Rom), Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 150-155.

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, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2430-2438.

Rodrigues, W. (1996). "Sistema de criação: qual adotar?". *Revista Brasileira de Agropecuária*. Ano I – nº 12.

Santos, I. J. (2000). "Reúso de Água no Distrito Federal: Estudo da Potencialidade do Aproveitamento de Esgotos Sanitários*".* Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação MTARH.DM-022A/00, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 139p.

Shereif, M. M.; Easa, M. El - S.; El-Samra, M. I. e Mancy, K. H. (1995). "A demonstration of wastewater treatment for reuse applications in fish production and irrigation in Suez, Egypt". *Water Science and Technology*, 32 (11), 137-144.

Silva, A. K. P.; Flores, L. C.; Galdeano, M. M. e Val, P. T. (2003). "Reúso de Água e suas Implicações Jurídicas". Navegar Editora. São Paulo, SP, Brasil, 1994, 115p.

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. (1997). "Reuso de Água". Programa de Educação Continuada em Tecnologia Apropriada e Saneamento para Professores Universitários. Original Reprográfico. CEPIS - Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS - Organização Pan-Americana de Saúde, 29p.

Strauss, M. e Blumenthal, U. J. (1990). "Use of Human Wastes in Agriculture and Aquaculture - Utilization, Practices and Health Perspectives - Executive Summary". International Reference Centre of Waste Disposal (IRCWD). IRCWD Report Nº 09/90. Duebendorf, Switzerland, 52p.

Tanik, A.; Sarikaya, H. Z.; Eroglu, V.; Orhon, D. e Oztürk, I. (1996). “Potential for reuse of treated effluent in Istanbul.” *Water Science & Technology*, 33 (10-11), 107-113.

Tchobanoglous, G. e Angelakis, A. N. (1996). “Technologies for Wastewater Treatment appropriate for reuse: Potential for Applications in Greece.” *Water Science & Technology*, 33 (10-11), 15-24.

Teixeira Filho, A. R. (1991). “Piscicultura ao Alcance de Todos”. Nobel. 2º edição, São Paulo, SP, Brasil, 212p.

Thurston, R. V.; Russo, R. e Vinogradov, G. A (1981). “Ammonia Toxicity to Fishes. Effect of pH on the Toxicity of the Un-ionized Ammonia Species.” Environmental Science & Technology, 5 (7), 837-840.

Ueharo, D. (1997). “Cara, escassa e insubstituível.” *Revista da indústria*, out., 6-11, São Paulo, Brasil.

Yancey, D. R. e Menezes, J. R. R. de (1985) “Manual de Criação de Peixes”. Fundação Cargill, 2ª edição, Campinas, 110p.

von Sperling, M.(1996). "Lagoas de Estabilização". Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, 134p.