

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRAULICA E AMBIENTAL
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – SANEAMENTO
AMBIENTAL**

CLETO AUGUSTO BARATTA MONTEIRO

**AVALIAÇÃO DA PISCICULTURA EM ESGOTO DOMÉSTICO
TRATADO: ASPECTOS ZOOTÉCNICOS, AMBIENTAIS E DE
QUALIDADE DO PESCADO PRODUZIDO**

**FORTALEZA
2011**

CLETO AUGUSTO BARATTA MONTEIRO

**AVALIAÇÃO DA PISCICULTURA EM ESGOTO DOMÉSTICO
TRATADO: ASPECTOS ZOOTÉCNICOS, AMBIENTAIS E DE
QUALIDADE DO PESCADO PRODUZIDO**

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof.Dr.Francisco Suetônio Bastos Mota.

**FORTALEZA
2011**

CLETO AUGUSTO BARATTA MONTEIRO

AVALIAÇÃO DA PISCICULTURA EM ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO: ASPECTOS ZOOTÉCNICOS, AMBIENTAIS E DE QUALIDADE DO PESCADO PRODUZIDO.

Tese submetida á Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil - Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Tese defendida, julgada e aprovada em: 24 / 02 / 2011.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota (Orientador)
Universidade Federal do Ceará-UFC

Profª.Dra. Marisete Dantas de Aquino
Universidade Federal do Ceará-UFC

Profº. Dr. André Bezerra dos Santos
Universidade Federal do Ceará-UFC

Profª. Dra. Maria de Nasaré Bona de Alencar Araripe
Universidade Federal do Piauí-UFPI

Dr. Fábio Rodrigues de Miranda
Embrapa - Ceará

À Cybele, minha esposa, e aos meus filhos Thadeu e Marcela, pelo carinho, apoio e incentivo em todas as nossas conquistas. Aos meus pais, Cleto e Iolanda (in memoriam), meus primeiros mestres, que com amor e paciência me ensinaram os valores éticos e morais em minha educação para vida.

AGRADECIMENTOS

- *Agradeço a Deus, pela oportunidade que me foi concedida para realizar este curso, a despeito dos difíceis obstáculos que tive de superar, com força, fé e determinação.*
- *A minha família, razão de minha vida, que entendeu desde o início a importância deste objetivo, e abraçou esta idéia com carinho, compreensão e muito amor. Minha eterna gratidão.*
- *Meu especial agradecimento ao professor Dr. Suetônio Mota, que acreditou no potencial deste trabalho e, como orientador, profissional e amigo, nunca permitiu que as angústias e dificuldades do processo de criação atingissem ou modificassem o nosso entusiasmo, propósito e objetivos durante toda esta jornada. Muito obrigado estimado mestre.*
- *Aos professores do Curso de Doutorado em Engenharia Civil, do Dpt^o. de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA), da Universidade Federal do Ceará, pelos conhecimentos partilhados e generosa acolhida durante todo o curso.*
- *Meu especial apreço ao professor Dr. Raimundo de Sousa, com quem muito aprendi, com seus conselhos e ensinamentos, sempre práticos, inteligentes e objetivos.*
- *A professora Dra. Marisete de Aquino, pela amizade e orientações em momentos de dúvidas e dificuldades que naturalmente surgiram durante o curso. A ela toda minha estima e admiração.*
- *Aos professores Dr (s). André Bezerra e Ronaldo Stefanutti, pelas correções e importantes sugestões no exame de qualificação.*
- *Aos amigos que ganhei, pelo o privilégio de um convívio fraterno, e pela importância que tiveram ao longo desta jornada, o meu mais sincero agradecimento, pois a conquista deste tão sonhado objetivo, dificilmente seria alcançada se não tivesse a saudável cumplicidade de todos vocês.*

- *Destaco e agradeço a parceria, o carinho e a grande amizade que me aproximou de pessoas tão especiais e estimadas como: Ada Amélia, Elisangela Rocha, Paulo Igor, Germana Paiva, Roger Bastos, Eliezer Abdala, Neyliane Costa, Socorro Vale, Carlos Henrique, Ranier e Ari Clesius, cada um, com seu modo de ser bem peculiar, representam riquezas preciosas que a vida me ofereceu. Muito obrigado.*
- *Ao Eng^o. Emanuel Soares, grande parceiro e amigo, agradeço a inestimável colaboração, pois como profissional de grande qualificação técnica, contribuiu decisivamente para o sucesso deste trabalho. Obrigado.*
- *A professora, Dra. Nasaré Bona, pela paciência em ajudar-me em todas as fases da piscicultura pesquisada, seja nas sugestões pelos melhores e mais eficientes resultados ou nos aconselhamentos mais oportunos. Meu sincero e fraterno agradecimento.*
- *Ao Prof. Francisco Teixeira, pela parceria pioneira em adaptar o teste de Bioimpedância, na avaliação do pescado produzido neste experimento. Obrigado.*
- *Ao acadêmico de Agronomia, Tony Ewerton por sua colaboração no manejo dos peixes na unidade experimental, e na produção criteriosa do material gráfico representativo do resultado das análises de campo e laboratório. E ao acadêmico de Química, Jefferson Nascimento pelo trabalho de assistência no Laboratório de Saneamento. Obrigado.*
- *A Dra. Rejane Miranda pela participação incansável e de grande responsabilidade no planejamento, condução, avaliação e interpretação das análises físico-químicas necessárias ao pleno desenvolvimento deste trabalho. Muitíssimo obrigado.*
- *Aos profissionais da coordenação de tratamento de esgotos sanitários da Agepisa: Walter Sidney, Suzane Fialho, Ana Selma, Maria Helena, Márcia Fernanda, Stela Reis e Constantino Alves, o meu agradecimento pelo importante apoio na realização de análises complementar e fundamental para este projeto.*

- *A empresa Águas e Esgotos do Piauí S.A. (AGESPISA), pelo apoio institucional e irrestrito, com garantia de atender as demandas necessárias a realização desta pesquisa.*
- *A Dra. Socorro Sales, ao Dr. Merlong Solano, e ao Engº. Marcos Venícius Costa, presidentes da Agespisa, que durante seus mandatos, foram os grandes avalistas e incentivadores deste projeto. Muitíssimo obrigado.*
- *A Universidade Federal do Piauí, (UFPI) pelo apoio institucional e, participação dos Laboratórios Especializados, NUEPPA, CITOGENÉTICA, LIMNOLOGIA, LASAN, LABOSAN-CT e ANÁLISE SENSORIAL, em todas as análises requeridas pelos protocolos experimentais. Com gratidão destaco as professoras Dr.(as) Ana Amélia, Sandra Dantas, Ivete Mendonça, Regilda Saraiva, a professora especialista Cintia Pereira, o professor Dr. Jeremias Pereira e o médico veterinário Francisco Filho.*
- *Ao DNOCS – PI, pelo fornecimento dos alevinos de qualidade, especialmente selecionados e produzidos na Estação de Piscicultura “Ademar Braga”, da cidade de Piripiri-PI.*
- *A Funcap que apoiou este projeto na fase inicial dos estudos, e cujo auxílio foi fundamental para superar as dificuldades nesta fase dos trabalhos.*
- *Aos operadores, Claudemir, Brasilionélio e Daniel, pelo trabalho eficiente e dedicado, no manejo do cultivo, e manutenção da Unidade Experimental de Réuso, toda minha gratidão.*

Se não houver frutos, valeu a beleza das flores. Se não houver flores, valeu a sombra das folhas. Se não houver folhas, valeu a intenção da semente.

Henrique de Souza Filho (Henfil)

RESUMO

O aproveitamento de águas residuárias é uma alternativa bastante difundida na atualidade. Uma das formas de reúso é na atividade piscícola, considerando-se que os efluentes das Estações de Tratamento de Esgotos são fontes ricas em nutrientes que podem ser aproveitados pelos peixes. Entretanto, algumas restrições se apresentam com relação à qualidade dos animais para aproveitamento na alimentação humana. Dessa forma, essa pesquisa foi realizada utilizando esgotos domésticos tratados, na criação de tilápias do Nilo, *Oreochromis niloticus*, observando-se os aspectos zootécnicos, toxicológicos do ambiente de cultivo, bem como condicionantes qualitativos sanitários, nutricional, e de aceitabilidade do pescado produzido. A unidade experimental foi implantada em área adjacente à Estação de Tratamento de Esgotos (lagoas de estabilização), da zona leste de Teresina-PI, com dezoito tanques de fibra de vidro, dispostos em três tratamentos, com seis repetições. O tratamento T-01 foi abastecido somente com água tratada e forneceu-se ração industrializada; o tratamento T-02 recebeu esgoto tratado da lagoa de maturação, sem suprimento adicional de ração ou oxigênio, e o tratamento T-03 foi abastecido com o mesmo efluente sem fornecimento de ração, mas, recebeu aeração suplementar. Durante o ciclo experimental, foi realizada a renovação diária de 15% do volume de água armazenado nos tanques experimentais, para reposição de nutrientes e limpeza. Nos tanques foram estocados alevinos de tilápias, revertidos sexualmente para machos em lotes de 10 indivíduos por tanque (aproximadamente 03 alevinos /m²). Foram analisados os principais parâmetros de qualidade da água e do esgoto, que abastece os tanques, com especial destaque para as análises destinadas ao monitoramento da piscicultura. Para verificação da capacidade produtiva do ambiente de cultivo, foram avaliados os parâmetros zootécnicos, tais como: crescimento, ganho de peso, produtividade e conversão alimentar aparente. Também foram realizados os testes microbiológicos, de genotoxicidade (micronúcleos), de aceitabilidade e preferência (análise sensorial), além do Índice do rigor mortis (IRM) e da Bioimpedância. Este conjunto de testes foi utilizado para identificar o nível de qualidade do pescado. Os indivíduos submetidos ao tratamento T-01 (produtividade de 118,14 kg/ha.dia), tiveram o melhor desempenho zootécnico, seguido do tratamento T-03 (produtividade de 48,61kg/ha.dia), e tratamento T-02 (produtividade de 34,90 kg/ha.dia). Entretanto, nos testes que aferiram a qualidade sanitária do pescado e a palatabilidade não foram registradas diferenças significativas. Conclui-se que a piscicultura com esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização é viável, mas, ainda são necessários novos estudos para o desenvolvimento desta prática.

Palavras - chave: bioimpedância, desempenho zootécnico, esgoto sanitário, genotoxicidade, reúso, tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

ABSTRACT

The use of wastewater is an alternative widespread nowadays. One way to reuse it in fish activity, considering that the effluent from Sewage Treatment Stations, are rich sources of nutrients that could be used by fish. However, some restrictions arise regarding the quality of animals for use in human diet. Thus, this research was conducted using treated sewage, to raise Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), observing zootechnical aspects, toxicology of the culture environment, as well as qualitative sanitary conditions, nutrition, and acceptability of fish produced. The experimental unit was deployed in an area adjacent to the Sewage Treatment Station (stabilization ponds), at the east side of Teresina-PI, with eighteen of fiberglass tanks, arranged in three treatments with six repetitions. Treatment T-01 was supplied only with treated water and industrial fish feed; treatment T-02 received treated sewage from the maturation pond, without additional supply of feed or oxygen, and treatment T-03 was stocked with the same sewage effluent without feed, but received supplemental aeration. During the experimental cycle, we performed a daily renewal of 15% of the volume of water stored in experimental tanks for nutrient replacement and cleaning. In ponds stocked fingerlings of tilapia, sexually reversed for males in batches of 10 individuals per tank (about 03 fingerlings / m²). We analyzed the main parameters of water quality and sewage, fueling the tanks, with special emphasis on tests for monitoring of fish farming. To verify the productive capacity of the culture environment, we assessed the growth parameters such as growth, weight gain, feed conversion and productivity. Were also conducted microbiological testing of genotoxicity (micronuclei), acceptability and preference (sensory analysis), and the level of rigor mortis (MRI) and bioimpedance. This set of tests was used to identify the level of fish quality. Individuals undergoing treatment T-01 (productivity 118,14 kg/ha.day), had the best performance, followed of treatment T-03 (productivity 48,61kg/ha.day), and T-02 (productivity 34,90 kg/ha.day). However in tests that assessed the quality, fish health and the flavor, there was not significant difference. It is concluded that the fish farming with treated domestic sewage in stabilization ponds, it is feasible. But new studies are still needed for development of the practice.

Keywords: bioimpedance, genotoxicity, Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), reuse, wastewater, zootechnical performance.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------------|--|-----------|
| Figura 1 | Índice de atendimento total com abastecimento d'água (Brasil). | 27 |
| Figura 2 | Índice de atendimento total com coleta de esgotos (Brasil). | 28 |
| Figura 3 | Composição de esgoto doméstico. | 32 |
| Figura 4 | Esquema de funcionamento das lagoas de estabilização, do tipo facultativa. | 35 |
| Figura 5 | Influência da carga da lagoa e da hora do dia na espessura das camadas aeróbias e anaeróbias. | 38 |
| Figura 6 | Produção Total (t) da pesca extrativa e da aquicultura no período (1950-2009), e expectativa da produção para 2011 | 44 |
| Figura 7 | Influência do pH no desenvolvimento dos peixes. | 50 |
| Figura 8 | Comportamento do oxigênio dissolvido (OD), ao longo do dia em função da fotossíntese e respiração na água. | 51 |
| Figura 9 | Formas potenciais de reúso da água. | 58 |
| Figura 10 | Esquema Ilustrativo do sistema de lagoas de estabilização (ETE-Leste). | 77 |
| Figura 11 | Vista aérea da ETE-Leste de Teresina. | 78 |
| Figura 12 | Vista aérea da ETE – Leste de Teresina, com destaque para unidade experimental e lagoa aerada. | 79 |
| Figura 13 | Tanques utilizados no experimento. | 79 |
| Figura 14 | Vista geral da unidade experimental de reúso em piscicultura. | 80 |
| Figura 15 | Compressor radial. | 81 |

| | | |
|------------------|---|------------|
| Figura 16 | Difusor de micro bolhas. | 81 |
| Figura 17 | Montagem do conjunto elevatório. | 81 |
| Figura 18 | Elevatória em operação. | 81 |
| Figura 19 | Esquema da unidade experimental de reúso em piscicultura. | 82 |
| Figura 20 | Teste para índice do <i>rigor mortis</i> (IRM). | 90 |
| Figura 21 | Ponto de aplicação dos eletrodos proximais e distais para medição da BIA. | 92 |
| Figura 22 | Concentração de oxigênio dissolvido nos tanques experimentais | 97 |
| Figura 23 | Concentrações de amônia nos tanques experimentais. | 99 |
| Figura 24 | Representação gráfica das concentrações médias de nitrito e nitrato nos tanques experimentais. | 101 |
| Figura 25 | Representação gráfica das concentrações médias de DBO e DQO para o tratamento T - 01. | 104 |
| Figura 26 | Representação gráfica das concentrações médias de DBO e DQO para o tratamento T - 02. | 105 |
| Figura 27 | Representação gráfica das concentrações médias de DBO e DQO para o tratamento T - 03. | 105 |
| Figura 28 | Fotomicrografia de: (A) Rotífero (<i>Brachionus calyciflorus</i>); (B) Arthropoda (moina sp), nos tanques de cultivo. | 107 |
| Figura 29 | Ilustração das variedades de algas nos tanques de cultivo. | 108 |

| | | |
|------------------|--|------------|
| Figura 30 | Gráfico comparativo do crescimento dos peixes em comprimento total médio (Lf) nos tanques experimentais. | 110 |
| Figura 31 | Gráfico comparativo do ganho médio de peso (W) dos peixes nos tanques experimentais. | 111 |
| Figura 32 | Representação Gráfica do desempenho do cultivo (estatísticas); A; B;C. | 113 |
| Figura 33 | Amostras de peixes dos três tratamentos, ao final do cultivo. | 116 |
| Figura 34 | Distribuição percentual de respostas sensoriais (aceitabilidade). | 118 |
| Figura 35 | Amostras de peixes durante o teste de <i>rigor mortis</i> , (A) início do teste ; (B) máxima contração. | 121 |
| Figura 36 | Curva de desenvolvimento para o <i>rigor mortis</i> nos indivíduos dos três tratamentos. | 121 |
| Figura 37 | Fotomicrografia de micronúcleos em eritrócitos de sangue periférico de tilápias do Nilo. | 123 |
| Figura 38 | Gráfico da frequência de micronúcleo em eritrócitos de tilápias. | 124 |
| Figura 39 | Medição do volume (A) e peso (B) dos animais para a determinação do ângulo de fase. | 125 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------------|---|-----------|
| Tabela 1 | Características dos principais sistemas de lagoas de estabilização. | 36 |
| Tabela 2 | Produtividade que pode ser alcançada em diferentes níveis de manejo, nos cultivos de tilápias e catfish americano. | 46 |
| Tabela 3 | Algumas características biológicas, mercadológicas e de manejo das principais espécies de peixes cultivadas no Brasil. | 47 |
| Tabela 4 | Reúso de águas: tipos e usos. | 58 |
| Tabela 5 | Composição média em termos de proteína bruta, extrato etéreo, matéria mineral e energia dos alimentos naturais dos peixes. | 61 |
| Tabela 6 | Critérios de qualidade microbiológica para reúso de águas segundo a OMS. | 65 |
| Tabela 7 | Critérios para águas doces recomendados pelo CONAMA. | 66 |
| Tabela 8 | Critérios de qualidade de alimentos recomendados pela ANVISA. | 67 |
| Tabela 9 | Diretrizes do PROSAB para uso do esgoto sanitário em Piscicultura | 68 |
| Tabela 10 | Parâmetros de avaliação da conversão alimentar. | 72 |
| Tabela 11 | Produção das principais espécies da piscicultura brasileira (2005). | 74 |
| Tabela 12 | Parâmetros físico-químicos e biológicos. Métodos e equipamentos utilizados nas análises. | 84 |
| Tabela 13 | Principais parâmetros zootécnicos analisados. | 87 |
| Tabela 14 | Concentração de amônia total, fósforo, ortofosfato e NMP de coliformes termotolerantes no afluente e efluente da ETE-Leste. | 94 |

| | | |
|------------------|---|------------|
| Tabela 15 | Valores médio, máximo e mínimo da concentração de oxigênio dissolvido para os tratamentos experimentais. | 96 |
| Tabela 16 | Valores médio, máximo e mínimo da concentração de amônia para os tratamentos experimentais. | 99 |
| Tabela 17 | Valores médios, das concentrações de amônia total e amônia tóxica, para os tratamentos T-01; T-02; T-03. | 100 |
| Tabela 18 | Valores médios, de condutividade elétrica, ortofosfato, Fósforo e alcalinidade para os tratamentos experimentais. | 102 |
| Tabela 19 | Concentração de coliformes nos tratamentos T-02 e T-03. | 103 |
| Tabela 20 | Valores médios dos comprimentos totais (Lt) dos peixes cultivados nos tratamentos experimentais. | 109 |
| Tabela 21 | Valores médios dos pesos totais (W), dos peixes cultivados nos tratamentos experimentais. | 110 |
| Tabela 22 | Valores médios dos parâmetros zootécnicos dos peixes nos tratamentos experimentais. | 112 |
| Tabela 23 | Análises microbiológicas dos tecidos de peixes dos diferentes tratamentos experimentais. | 117 |
| Tabela 24 | Teste pareado de preferência dos peixes cultivados nos diferentes tratamentos experimentais (T-01, T-02, T-03). | 119 |
| Tabela 25 | Avaliação da mutagenicidade em tilápias do Nilo, nos tratamentos experimentais (T-01, T-02, T-03). | 123 |
| Tabela 26 | Ângulo de Fase para os peixes nos diferentes tratamentos experimentais (T-01,T-02,T-03). | 126 |
| Tabela 27 | Simulação estatística comparativa, incluindo o valor de referência (15°) para o ângulo de fase em peixes. | 127 |

QUADROS

| | | |
|-----------------|--|-----------|
| Quadro 1 | Composição dos esgotos domésticos. | 31 |
| Quadro 2 | Composição simplificada dos esgotos sanitários. | 32 |
| Quadro 3 | Inconvenientes do lançamento “in natura” de esgotos nos corpos receptores. | 33 |
| Quadro 4 | Influência dos principais fatores ambientais externos. | 39 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| AGESPISA | Águas e Esgotos do Piauí S. A |
| ÂF | Ângulo de Fase |
| ANVISA | Agência Nacional de Vigilância Sanitária |
| APHA | American Public Health |
| CAA | Conversão Alimentar Aparente |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| COTES | Coordenação de Tratamento de Esgotos Sanitários |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DNOCS | Departamento Nacional de Obras Contra Secas |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgotos |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IRM | Índice do Rigor Mortis |
| LASAN | Laboratório de Sanidade Animal |
| NUEPPA | Núcleo de Estudos Pesquisas e Processamento de Alimentos |
| OD | Oxigênio Dissolvido |
| ODM | Objetivo de Desenvolvimento do Milênio |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| OMS | Organização Mundial da Saúde |
| PMSS | Programa de Modernização do Setor de Saneamento |
| PNAD | Pesquisa Nacional de Amostra por Domicilio |
| PROSAB | Programa de Pesquisa em Saneamento Básico |
| SEAP | Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca |
| SS | Sólidos Suspensos |
| UFC | Universidade Federal do Ceará |
| UFPI | Universidade Federal do Piauí |
| UASB | Upflow Anaerobic Sludge Blanket |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1.0. INTRODUÇÃO | 21 |
| 1.1. Objetivo geral | 25 |
| 1.2. Objetivos específicos | 25 |
| 2.0. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 26 |
| 2.1. Saneamento – Situação atual no Brasil | 26 |
| 2.2. Características dos esgotos sanitários | 29 |
| 2.3. Tratamento de esgotos em lagoas de estabilização | 34 |
| 2.4. Piscicultura | 42 |
| 2.4.1. Aspectos gerais | 42 |
| 2.4.2. Sistemas de cultivos | 45 |
| 2.4.3. Qualidade da água para piscicultura | 48 |
| 2.4.4. Aspectos sócio-econômicos | 54 |
| 2.5. Reúso de águas | 55 |
| 2.5.1. Aspectos gerais | 55 |
| 2.5.2. Utilização de esgotos sanitários em piscicultura | 59 |
| 2.5.2.1. Aspectos sanitários | 62 |
| 2.5.2.2. Aspectos técnicos | 68 |
| 2.5.2.3. A escolha da espécie para cultivo | 72 |
| 2.5.2.4. As tilápias | 73 |
| 3.0. MATERIAL E MÉTODOS | 76 |
| 3.1. Avaliação do efluente da estação de tratamento de esgoto (ETE-Leste) | 76 |
| 3.2. Tratamentos experimentais | 76 |
| 3.3. Descrição da área de estudos | 77 |

| | |
|--|------------|
| 3.4. A unidade experimental | 79 |
| 3.5. Protocolos experimentais | 82 |
| 3.5.1. Delineamento experimental | 82 |
| 3.5.2. Acompanhamento de parâmetros ambientais e de qualidade d'água | 83 |
| 3.5.3. Avaliação primária da comunidade planctônica. | 85 |
| 3.5.4. Avaliação da capacidade de produção de peixes com o esgoto doméstico tratado em lagoa de estabilização. | 86 |
| 3.5.5. Qualidade do pescado produzido com o esgoto doméstico tratado. | 87 |
| 3.5.5.1. Análises microbiológicas | 87 |
| 3.5.5.2. Análise sensorial | 88 |
| 3.5.5.3. Índice do <i>rigor mortis</i> (IRM) | 89 |
| 3.5.5.4. Teste de genotoxicidade | 91 |
| 3.5.5.5. Teste de bioimpedância (ângulo de fase) | 92 |
| 4.0. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 93 |
| 4.1. Avaliação do efluente da estação de tratamento de esgoto (ETE-Leste) | 93 |
| 4.2. Análises dos principais parâmetros de qualidade d'água nos tanques experimentais | 94 |
| 4.2.1. Temperatura | 94 |
| 4.2.2. Oxigênio dissolvido | 95 |
| 4.2.3. pH; amônia | 97 |
| 4.2.4. Nitrito e Nitrato | 100 |
| 4.2.5. Outros parâmetros ambientais | 101 |
| 4.3. Avaliação da comunidade planctônica | 106 |
| 4.4. Análise da capacidade produtiva de peixes | 109 |
| 4.4.1. Parâmetros zootécnicos | 111 |

| | |
|--|------------|
| 4.4.2. Conversão alimentar aparente | 115 |
| 4.5. Qualidade do pescado produzido | 117 |
| 4.5.1. Microbiologia do pescado | 117 |
| 4.5.2. Aceitabilidade e preferência | 118 |
| 4.5.3. Índice do <i>rigor mortis</i> (IRM) | 119 |
| 4.5.4. Teste de genotoxicidade | 122 |
| 4.5.5. Teste de bioimpedância | 125 |
| 5.0. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 128 |
| 6.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 131 |

1.0. INTRODUÇÃO

O conjunto das atividades humanas está cada vez mais diversificado e associado ao crescimento demográfico, exigindo atenção maior às necessidades de uso da água para diversas finalidades. Essas necessidades cobram seus tributos tanto em termos quantitativos quanto qualitativos, e se evidenciam principalmente em regiões com características de maiores desenvolvimentos urbanos, industriais e agrícolas (MANCUSO; SANTOS *et al.*, 2003).

No entanto, há que se destacar a existência de regiões onde a escassez e a má distribuição de água tornam-se fatores limitantes ao seu próprio processo de desenvolvimento. Tais limitações são características das regiões áridas e semi-áridas do nordeste brasileiro.

Portanto, em qualquer circunstância a grande questão que se verifica é como equacionar a relação demanda versus oferta de água, posto que, quase sempre se observa situação de flagrante desequilíbrio. Segundo projeções da Organização das Nações Unidas (ONU) para 2025, dois terço da população mundial (5,5 bilhões de pessoas) viverão em locais que sofram com algum tipo de problema relacionado com a água (BIO, 2003 *apud* FIORI *et al.*, 2006).

Uma das evidências de que a escassez prevista é real, e não apenas previsão catastrófica, reside no fato de que alguns países estão superando o nível de vida capaz de ser suportado com a reserva d'água disponível. Países como China, México, Tailândia, parte do Oeste dos Estados Unidos, norte da África e áreas do Oriente Médio estão retirando do lençol freático mais água que o ciclo hidrológico consegue repor. A região do MENA (*Middle East and North Afric*), que abrange os países da Argélia, Baharein, Chipre, Egito, Irã, Iraque, Israel, Jordânia, Kuwait, Líbano, Líbia, Marrocos e Saara Ocidental, Omã, Autoridade Palestina, Qatar, Arábia Saudita, Síria, Tunísia, Turquia, Emirados Árabes Unidos e Iêmen, segundo Mancuso *et al.* (*apud* FIORE *et al.*, 2006), abriga 300 milhões de pessoas e possui apenas 1% do estoque anual de água renovável do planeta.

Por outro lado, países como o Brasil, que possui importantes reservas hídricas, mas mal distribuídas no território nacional, não podem cometer o desatino do desperdício e da má utilização, pois já são perceptíveis as dificuldades em atender

as demandas verificadas em áreas de grande densidade populacional. Ainda não se tem a tão necessária consciência da chamada sustentabilidade.

Diversos são os instrumentos, mecanismos e tecnologias a serem empregadas no trato dessa questão, porém vários deles carecem de estudos e investigações que auxiliem o seu melhor emprego e produzam resultados sanitários, ambientais e econômicos satisfatórios.

Uma das alternativas que se tem apontado para o enfrentamento do problema é o reúso de água, importante instrumento de gestão ambiental já consagrado para a sua adequada utilização (MANCUSO; SANTOS *et al.*, 2003). Assim sendo, o reúso subentende uma tecnologia desenvolvida em maior ou menor grau de eficiência, dependendo dos fins a que se destina a água e de como ela tenha sido usada anteriormente, além de representar uma possibilidade efetiva de economia e racionalização deste recurso natural.

O reaproveitamento de águas residuárias em aquicultura é uma forma de produção de proteína animal a baixo custo que pode ser explorada pela iniciativa privada ou pelo setor público. Este cultivo pode atingir bons níveis de produtividade em função dos efluentes das ETE's (Estações de Tratamento de Esgotos) serem ricas fontes de nutrientes, promovendo assim o desenvolvimento do alimento natural para peixes em viveiros.

Entretanto, ainda são escassas as informações sobre a viabilidade técnica, econômica e sanitária dessa prática com base na realidade nacional. Torna-se, assim, necessário testar sua validade sob diferentes condições como: clima, método de cultivo de peixes, espécies cultivadas e qualidade de efluentes.

É possível considerar que as lagoas de estabilização, e particularmente as lagoas de polimento e de maturação, são ambientes bastante semelhantes aos tanques de piscicultura, em termos de morfometria e da dinâmica da qualidade da água. Assim, o efluente produzido por este tipo de tratamento biológico de esgoto apresenta enorme potencial de uso, para o cultivo de peixes.

Nesse processo tem-se como desejável uma reciclagem de nutrientes na medida em que a produção da biomassa de algas nos reatores vai sustentar a alimentação básica do estoque de peixes cultivados nesse ambiente.

Para aproveitar de forma eficiente toda essa biomassa de qualidade, devem ser utilizadas espécies de peixes que possuam a capacidade de assimilar essa fonte protéica com eficiência. Dentre as espécies mais utilizadas nas pesquisas e nos

cultivos com reúso de esgoto ao redor do mundo, estão as carpas e as tilápias (SANTOS 2008).

No estado do Piauí, a despeito das potencialidades naturais, notadamente quanto aos seus recursos hídricos, as atividades em aquicultura com ênfase na piscicultura, podem ser enquadradas dentre as atividades com excelentes perspectivas de crescimento, muito embora o cenário atual seja bastante incipiente se comparado com outros estados da região nordestina ou com as estatísticas de outras regiões brasileiras. Mas, no contexto das políticas do setor, é possível vislumbrar mecanismos capazes de modificar o *status quo* vigente.

A piscicultura com esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilizações tem sido objeto de diversos trabalhos nos quais foi investigado o desempenho zootécnico das espécies pesquisadas em função da oferta de nutrientes e, das condições ambientais existentes neste tipo de cultivo. Também foram avaliadas as influências da atividade piscícola na qualidade do esgoto gerado pelos experimentos, tendo em vista a responsabilidade dessas pesquisas com a integridade do meio ambiente. Esta conduta é facilmente identificada nos trabalhos de Santos *et al* (2009 a,b), Pereira (2004) e Andrade (2008), que também utilizaram as tilápia do Nilo em suas pesquisas.

Neste trabalho, pretende-se contribuir para o desenvolvimento das unidades de tratamento de esgotos sanitários, com vistas ao estímulo para o uso do efluente tratado em lagoas de estabilização, tanto na produção de proteína animal, como nas intervenções favoráveis aos preceitos fundamentais da correta gestão ambiental. O reúso de águas conjuga e integra fatores bióticos e abióticos em nome da sustentabilidade, inclusive nos aspectos da dimensão socioeconômica.

Por outro lado, destaca-se ainda que nessa pesquisa, além dos parâmetros zootécnicos, tradicionalmente utilizados para avaliar o desenvolvimento do cultivo experimental de peixes, realizou-se também uma ampla e importante investigação com o propósito de aferir as reais condições de qualidade do pescado produzido na piscicultura com esgoto doméstico tratado.

Para viabilizar esses processos investigatórios, foram providenciadas análises específicas, tais como: análises microbiológicas nos tecidos dos animais (pesquisa de coliformes, *Salmonella sp* e *Staphylococcus aureus*) e na água do cultivo (ovos de trematódeos, cestódeos e oocistos de protozoários); análises sensoriais (aceitabilidade e preferências); determinação do Índice do *rigor mortis* - IRM

(avaliação do frescor); teste de genotoxicidade por meio da ocorrência de micronúcleos (avaliação do potencial de mutagenicidade e toxicidade em exposição à genotóxicos); teste da bioimpedância (avaliação da condição sanitária e nutricional dos peixes, com o cálculo do ângulo de fase).

No desenvolvimento e apresentação do tema objeto do presente estudo, os assuntos foram agrupados de maneira a oferecer uma sequência de tópicos com encadeamento lógico que também possibilite a consulta de seções alternadas, sem comprometer o entendimento do conteúdo apresentado no capítulo em foco.

Assim sendo, o capítulo 2 está destinado à revisão bibliográfica, com destaque para informações sobre esgotos sanitários, piscicultura e o reúso de águas, que é a base de sustentação científica para os procedimentos metodológicos e o desenvolvimento da pesquisa propriamente dita. Além do mais, esta fundamentação teórica orienta as discussões e conclusões dos resultados obtidos.

O capítulo 3 oferece uma completa descrição dos materiais empregados e os métodos adotados, para o desenvolvimento da proposta experimental. Os resultados e as respectivas discussões compõem o capítulo 4 deste trabalho. Finalmente, as conclusões e recomendações estão no capítulo 5, e, as referências bibliográficas estão relacionadas no último capítulo (6).

1.1. Objetivo geral

Avaliar a utilização de esgotos domésticos tratados na criação de peixes, observando os aspectos zootécnicos, toxicológico do ambiente de cultivo, qualitativo sanitário, nutricional, e a aceitação do pescado produzido.

1.2. Objetivos específicos

- Avaliar a qualidade do efluente produzido pelas lagoas de estabilização e propor eventuais intervenções que permitam melhoria na condição de sobrevivência e crescimento dos peixes.
- Avaliar, com base nos resultados zootécnicos, a real capacidade da sustentação do cultivo de peixes, com o uso de esgoto doméstico tratado.
- Verificar se o cultivo de peixes com efluente de esgotos tratado produz modificações importantes na qualidade deste efluente.
- Avaliar os aspectos da toxicidade do ambiente de cultivo, e os efeitos nos peixes.
- Verificar a condição microbiológica do pescado produzido, com vistas ao enquadramento nas condições sanitárias requeridas para fins de consumo humano.
- Avaliar a condição sanitária e nutricional dos peixes, utilizando como indicador o ângulo de fase, calculado para estrutura celular dos animais por meio da Bioimpedância.
- Determinar o índice do *rigor mortis* para estabelecer o frescor do pescado.
- Avaliar a aceitação e preferências do pescado produzido na piscicultura experimental, utilizando os testes de Análise Sensorial.

2.0. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Saneamento – Situação atual no Brasil.

O Diagnóstico dos serviços de Águas e Esgotos-2007, produzido pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2009), vinculado ao Programa de Modernização do Setor de Saneamento do Ministério das Cidades (Governo Federal), oferece, uma consistente base de dados, relativa aos serviços de águas e esgotos, de responsabilidade das prestadoras de serviços, regionais, microrregionais e locais. As considerações e comparações entre os dados e estatísticas da série histórica com os indicadores de 2007, permitem definir projeções para um cenário futuro deste setor, com razoável nível de precisão.

No que diz respeito à quantidade de municípios, a amostra agregada corresponde à totalização de dados de 4.556 municípios sobre os serviços de água e de 1.355 sobre serviços de esgotos (respectivamente, 81,9% e 24,4% do total dos municípios brasileiros).

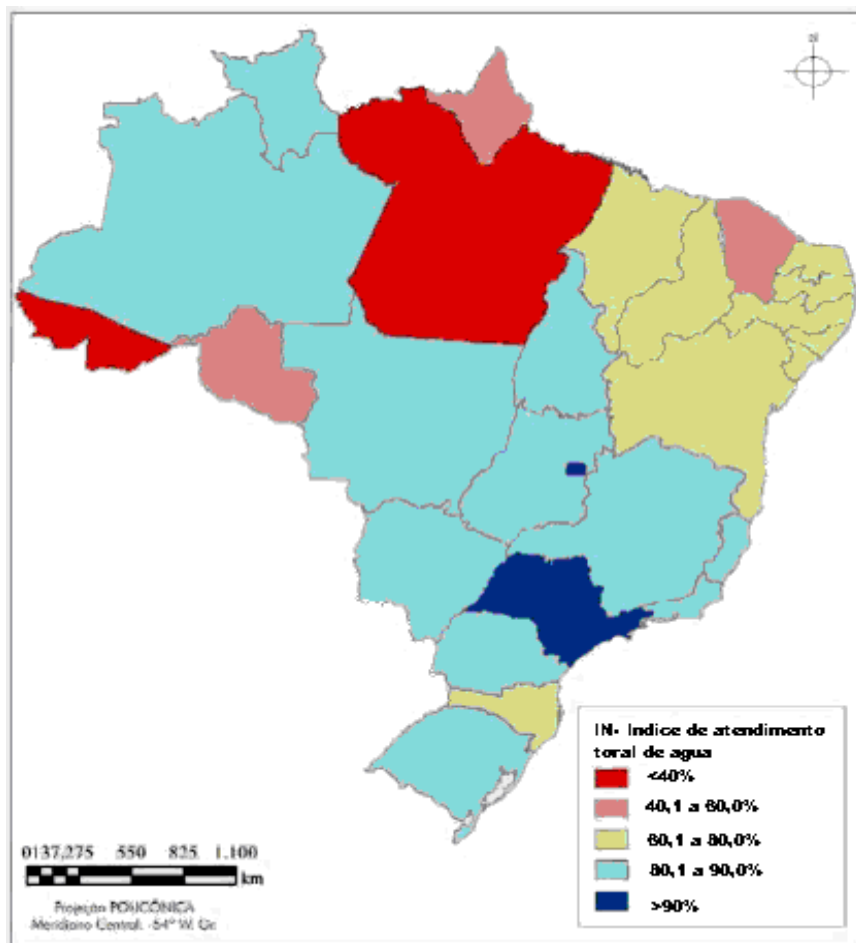
Considerando estes dados, os prestadores de serviços que estão presentes no SNIS em 2007 atuam em municípios que possuem uma população urbana de 149,7 milhões de pessoas, no caso dos serviços de água, e 117,0 milhões, no caso dos serviços de esgotos (respectivamente, 97,9% e 76,5% do total do país).

Os dados apurados e compilados em 2007 demonstram que o setor ainda carece de intervenções importantes no que diz respeito ao aporte de recursos para alcançar as metas preconizadas pelas Nações Unidas dentro dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODMs). No ano de 2007, o índice médio de atendimento em relação à população total dos prestadores de serviços participantes do SNIS, em nível de Brasil, foi de 80,9% para água, 42,0% para coleta de esgotos e 32,5% para tratamento dos esgotos. Já o índice médio de atendimento urbano foi de 94,2% para água e 49,1% para coleta de esgotos.

Em relação ao índice de atendimento total com abastecimento de água (Figura 1), observa-se o maior número de estados nas faixas de 80,1% a 90,0% (11 estados) e de 60,1% a 80,9% (9 estados). Na primeira faixa estão estados das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Norte, enquanto que na segunda faixa os estados concentram-se principalmente na região Nordeste, e um estado na região

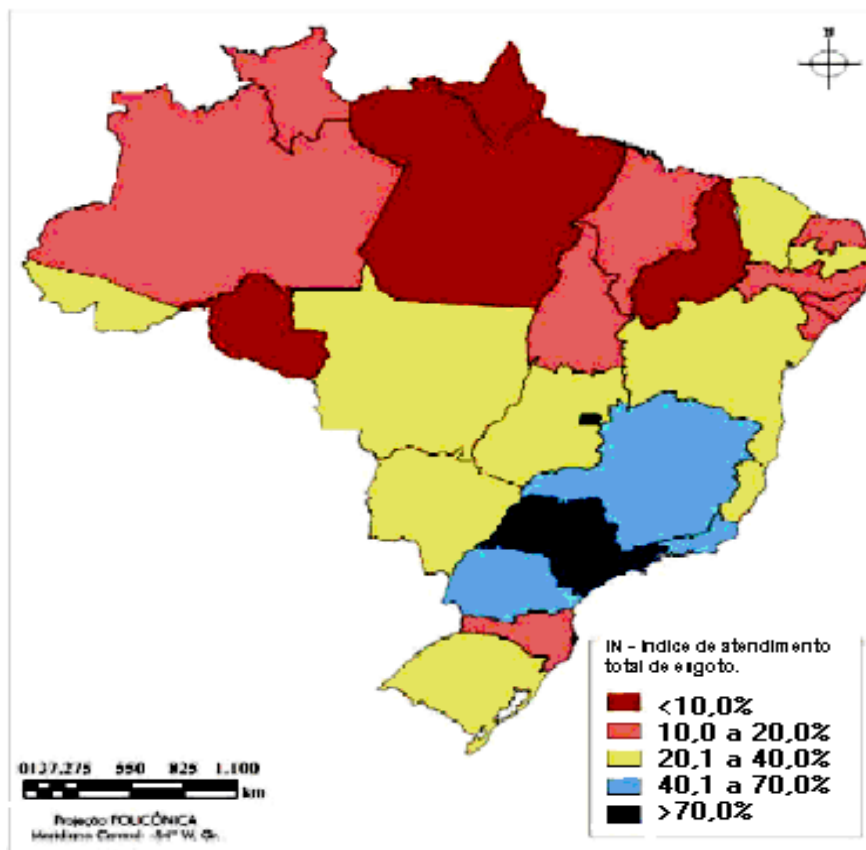
Sul. Apenas dois estados, o Pará e o Acre, situaram-se na menor faixa (<40%) e dois estão na maior faixa, São Paulo e Distrito Federal (>90%).

Quanto ao índice de atendimento total com coleta de esgotos (Figura 2), os dois estados com melhores índices (>70%) foram São Paulo e Distrito Federal, enquanto que na pior faixa (<10%), situaram-se 4 estados: Rondônia, Pará, Amapá e Piauí. Na segunda melhor faixa (40,1% a 70,0%) ficaram os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Paraná. Os demais estados distribuíram-se nas outras duas faixas, sendo 9 estados entre 20,1% e 40% e 9 estados na faixa de 10,1% e 20%.



Fonte: Adaptada de SNIS (2009).

Figura 1-Índice de atendimento total com abastecimento d'água (Brasil).



Fonte: Adaptada de SNIS (2009).

Figura 2 - Índice de atendimento total com coleta de esgotos (Brasil).

O Brasil, como signatário dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), propostos pela ONU, destinados ao atendimento com serviços de água e esgotos, deve envidar esforços para reduzir à metade, até 2015, a proporção da população de 1990, sem acesso à água potável para o abastecimento e ao esgotamento sanitário.

Com base em análises realizadas a partir das informações do PNAD – Pesquisa por Amostra de Domicílio do IBGE, de 1990, o PMSS desenvolveu estudos que estimaram as reais possibilidades, e requisitos para que o Brasil alcance os objetivos de desenvolvimento do Milênio, conforme os seguintes resultados (SNIS, 2009):

- **Abastecimento d'água:**

- índice de atendimento em 2000: 77,8%;
- índice de atendimento em 2007: 80,9%;
- média de crescimento anual: 0,44 %;
- índice para atender o ODM: 84,88%;

- déficit em 2007 para atingir o ODM: 3,89%;
- quantidade de vezes que deve ocorrer o mesmo crescimento médio apontado pelo SNIS: 9 vezes.

- **Esgotamento sanitário:**

- índice de atendimento em 2000: 37,1%;
- índice de atendimento em 2007: 42,0%;
- média de crescimento anual: 0,70%;
- índice para atender o ODM: 69,71%;
- déficit em 2007 para atingir o ODM: 27,71%;
- quantidade de vezes que deve ocorrer o mesmo crescimento médio apontado pelo SNIS: 40 vezes.

Portanto, os números e projeções apresentados sustentam as iniciativas favoráveis ao uso racional da água, em contraposição ao desperdício. Destaca-se, também, o estímulo ao reúso e demais ações aliadas da sustentabilidade, lastreadas pelos recursos financeiros compatíveis com a demanda rumo a Universalização dos serviços de saneamento básico.

2.2.Características dos esgotos sanitários.

O esgoto sanitário, segundo definição da norma brasileira NBR 9648 (ABNT, 1986), é o “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”. Essa mesma norma define, ainda:

- O esgoto doméstico: “despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”;
- Esgoto industrial: “despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos”;
- Água de infiltração: “toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações”;
- Contribuição pluvial parasitária: “a parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário”.

Por elas mesmas, essas definições já estabelecem a origem do esgoto sanitário que, dadas tais parcelas, pode ser designado simplesmente como *esgotos*. Apesar dessas definições serem inequívocas, algumas considerações ainda podem ser feitas.

O esgoto doméstico é gerado a partir da água de abastecimento e, portanto, sua medida resulta da quantidade de água consumida. Esta é geralmente expressa pela “taxa de consumo *per capita*”, variável segundo hábitos e costumes de cada localidade. É usual a taxa de 200 l/hab.dia, mas em grandes cidades de outros países essa taxa de consumo chega a ser três a quatro vezes maiores, resultando num esgoto bem mais diluído, já que é praticamente constante a quantidade de resíduo produzido por pessoa.

É óbvio que as vazões escoadas de esgoto são maiores. No Brasil, há capitais de alguns estados que utilizam taxas maiores do que aquela no dimensionamento dos seus sistemas, ou parte deles. Mas, em outros casos, são usadas taxas bem menores (NUVOLARI *et al.*, 2003).

Quanto ao destino do esgoto, na maioria das vezes, são coleções de água natural – cursos de água, lagos ou mesmo o oceano, mas também pode ser o solo convenientemente preparado para receber a descarga efluente do sistema.

Em média, a composição do esgoto sanitário é de 99,9% de água e apenas 0,1% de sólidos, em que cerca de 75% desses sólidos são constituídos de matéria orgânica em processo de decomposição. Nesses sólidos, proliferam microorganismos, podendo ocorrer organismos patogênicos, dependendo da saúde da população contribuinte. Esses microorganismos são oriundos das fezes humanas. Podem, ainda, ocorrer poluentes tóxicos, em especial fenóis e os chamados “metais pesados”, da mistura com efluentes industriais. O Quadro 1 contém informações sobre a composição do esgoto doméstico.

Quadro 1 – Composição dos Esgotos Domésticos.

| Tipo de Substância | Origem | Observações |
|--|----------------------------|--|
| Sabões | Lavagem de louças e roupas | - |
| Detergentes (podem ser ou não biodegradáveis) | Lavagem de louças e roupas | - |
| Fosfato | Lavagem de louças e roupas | A maioria dos detergentes contém o nutriente fósforo na forma de polifosfato. Cada ser humano elimina, em média, pela urina, 1,5 gramas/dia. |
| Cloreto de sódio | Cozinhas e urina humana | - |
| Sulfatos | Urina humana | - |
| Carbonatos | Urina humana | - |
| Uréia, amoníaco e ácido úrico | Urina humana | Cada ser humano elimina de 14 a 42 gramas de uréia por dia. |
| Gorduras | Cozinhas e fezes humanas | - |
| Substâncias córneas, ligamentos da carne e fibras vegetais não digeridas | Fezes humanas | Vão se constituir na porção de matéria orgânica em decomposição, encontrada nos esgotos. |
| Porções de amido (glicogênio, glicose) e de protéicos (aminoácidos, proteínas, albumina) | Fezes humanas | Idem |
| Urobilina, pigmentos hepáticos etc. | Urina humana | Idem |
| Mucos, células de descamação epitelial | Fezes humanas | Idem |
| Vermes, bactérias, vírus, leveduras etc. | Fezes humanas | Idem |

Fonte: JORDÃO; PESSOA (2005).

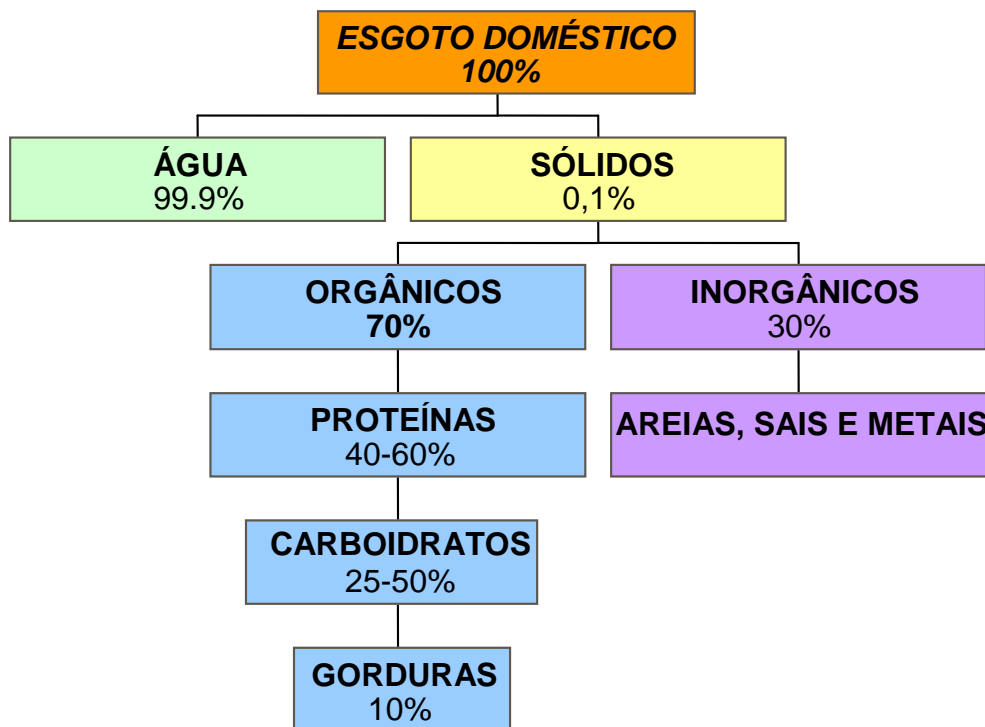
No Quadro 2 e na Figura 3 são apresentadas informações sobre a composição percentual dos esgotos doméstico.

Quadro 2 - Composição Simplificada dos Esgotos Sanitários

| Em média | Descrição | | |
|------------------------|--|----------------------|----------------------|
| 99,9% de água | Água de abastecimento utilizada na remoção do esgoto das economias e residências | | |
| 0,1% de sólidos (*) | Sólidos grosseiros | Grades | |
| | Areia | Caixas de areia | |
| | Sólidos sedimentáveis | Sólidos em suspensão | Decantação primária |
| | Sólidos dissolvidos | | Processos biológicos |

* Após o tratamento, o efluente final das ETEs ainda contém certa percentagem de sólidos e a maior ou menor quantidade de sólidos no efluente dependerá da eficiência da ETE.

Fonte: NUVOLARI *et al.*, (2003).



Fonte: Adaptado de NUVOLARI *et al.*, 2003.

Figura 3 - Composição de Esgoto Doméstico

No Quadro 3 são relacionados os inconvenientes do lançamento de esgotos *in natura* em corpos d'água.

Quadro 3 - Inconvenientes do lançamento de esgotos *in natura* em corpos d'água.

| | |
|-------------------------------------|--|
| Matéria orgânica solúvel | <ul style="list-style-type: none"> • Provoca a depleção (diminuição ou mesmo a extinção) do oxigênio dissolvido, contido na água dos rios e estuários. Mesmo tratado, o despejo deve estar na proporção da capacidade de assimilação do curso d'água. Algumas dessas substâncias podem ainda causar gosto e odor às fontes de abastecimento de água. Ex.: fenóis. |
| Elementos potencialmente tóxicos | <ul style="list-style-type: none"> • Ex.: cianetos, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio, zinco etc. Apresentam problemas de toxicidade (a partir de determinadas concentrações), tanto às plantas quanto aos animais e ao homem, podendo ser transferidos através da cadeia alimentar. |
| Cor e turbidez | <ul style="list-style-type: none"> • Indesejáveis do ponto de vista estético. Exigem maiores quantidades de produtos químicos para o tratamento dessa água. Interferem na fotossíntese das algas nos lagos (impedindo a entrada de luz em profundidade). |
| Nutrientes | <ul style="list-style-type: none"> • Principalmente nitrogênio e fósforo, aumentam a eutrofização dos lagos e dos pântanos. Inaceitáveis nas áreas de lazer e recreação. |
| Materiais refratários ao tratamento | <ul style="list-style-type: none"> • ABS (alquil-benzeno-sulfurado). Formam espumas nos rios; não são removidos nos tratamentos convencionais. |
| Óleos e graxas | <ul style="list-style-type: none"> • Os regulamentos exigem geralmente sua completa eliminação. São indesejáveis esteticamente e interferem com a decomposição biológica (os microorganismos, responsáveis pelo tratamento, geralmente morrem, se a concentração de óleos e graxas for superior a 20 mg/L). |
| Ácidos e Álcalis | <ul style="list-style-type: none"> • A neutralização é exigida pela maioria dos regulamentos; dependendo dos valores de pH do líquido há interferência com a decomposição biológica e com a vida aquática. |
| Materiais em suspensão | <ul style="list-style-type: none"> • Formam bancos de lama nos rios e nas canalizações de esgoto. Normalmente provocam decomposição anaeróbica da matéria orgânica, com liberação de gás sulfídrico (cheiro de ovo podre) e outros gases malcheirosos. |
| Temperatura elevada | <ul style="list-style-type: none"> • Poluição térmica que conduz ao esgotamento do oxigênio dissolvido no corpo d'água (por abaixamento do valor de saturação). |

Fonte: JORDÃO; PESSOA (2005).

Quando a matéria orgânica, presente nos esgotos, é lançada num corpo d'água, cria as condições necessárias para o crescimento dos microorganismos decompositores aeróbios que, no entanto, ao se alimentarem dessa matéria orgânica, consomem oxigênio dissolvido. Quando é grande a quantidade de matéria orgânica disponível na água, geralmente o que limita o crescimento bacteriano é a quantidade de oxigênio disponível.

Em certas condições, o oxigênio disponível pode vir a se extinguir, criando condições para o crescimento de outros tipos de microorganismos, os facultativos (que se alimentam da matéria orgânica, tanto na presença quanto na ausência de oxigênio dissolvido) e os estritamente anaeróbios, que se alimentam da matéria orgânica, na ausência de oxigênio dissolvido. A matéria orgânica presente num esgoto médio consome cerca de 300 mg/L de oxigênio dissolvido para ser degradada (NUVOLARI *et al.*, 2003)

2.3. Tratamento de esgotos em lagoas de estabilização.

Lagoas de estabilização são definidas como corpos de água do tipo lânticos construídos pelo homem e destinados a armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica, esgoto sanitário bruto e sedimentado, despejos industriais orgânicos e oxidáveis ou águas residuárias oxidadas.

O tratamento é feito através de processos naturais: físicos, biológicos e bioquímicos, denominados autodepuração ou estabilização. Esses processos naturais, sob condições parcialmente controladas, são os responsáveis pela transformação de compostos orgânicos putrescíveis em compostos minerais ou orgânicos mais estáveis (UEHARA; VIDAL, 1989 *apud* ARAÚJO, 2000).

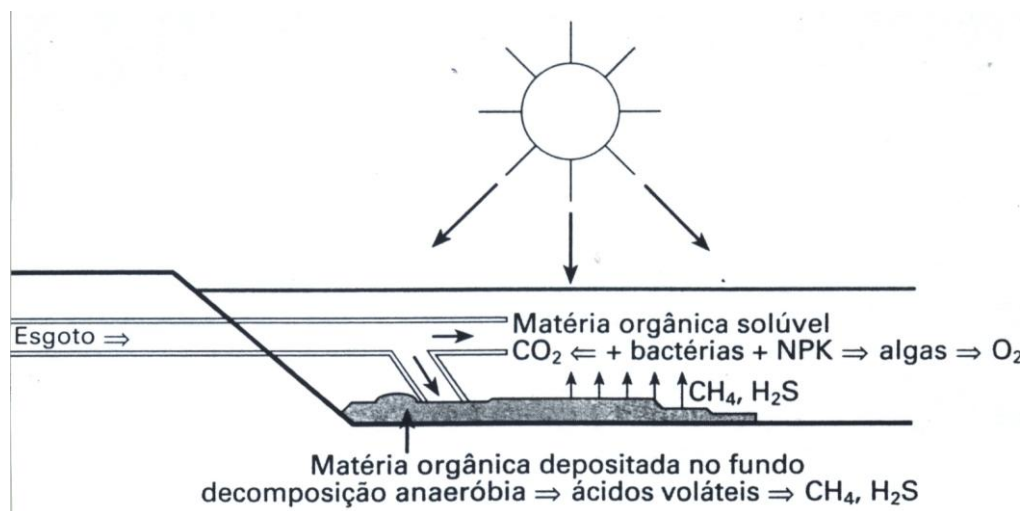
De acordo com Dos Santos (2007), o objetivo principal de lagoas de estabilização é estabilizar, ou seja, transformar em produtos mineralizados o material orgânico presente na água residuária a ser tratada. Por outro lado, para Mendonça (1990), as lagoas de estabilização são o mais simples método de tratamento de esgoto que existe e, o tratamento, através de lagoas de estabilização, tem três objetivos:

- Remover a matéria orgânica das águas residuárias, que causa a poluição;
- Eliminar os microorganismos patogênicos que representam um grave perigo à saúde;
- Utilizar o seu efluente para reúso, com outras finalidades, como agricultura, por exemplo.

Os fatores que influem sobre a qualidade desejada para o efluente das lagoas de estabilização são:

- Saúde – número de microorganismos patogênicos ou indicadores;
- Meio ambiente – os principais indicadores de poluição: demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e os sólidos em suspensão (SS);
- Reúso – dependendo do uso que se dará ao efluente, serão definidos os critérios para a redução bacteriológica, de DBO e de SS.

A técnica de tratamento de águas residuárias utilizando lagoas de estabilização tem evoluído muito, em termos de aplicação e credibilidade, em razão do grande número de estudos e pesquisas realizados nos últimos anos. Verifica-se que o efluente tratado com esta tecnologia é capaz de atender a maioria dos padrões de lançamento exigidos para os corpos receptores comumente utilizados. A Figura 4 apresenta o esquema de funcionamento de uma lagoa de estabilização do tipo facultativa.



Fonte: NUVOLARI *et al.*, 2003.

Figura 4 – Esquema de funcionamento das lagoas de estabilização facultativas.

A Tabela 1 apresenta uma comparação entre as principais características dos sistemas de lagoas de estabilização para a remoção da DBO, nitrogênio, fósforo e coliformes.

Tabela 1 - Características dos principais sistemas de lagoas de estabilização

| ITEM GERAL | ITEM ESPECÍFICO | FACULTATIVA | ANAERÓBIA-FACULTATIVA | AERADA FACULTATIVA | AERADA DE MISTURA COMPLETA |
|------------|----------------------------|-------------|-----------------------|--------------------|----------------------------|
| EFICIÊNCIA | DBO (%) | 70 – 85 | 70 – 90 | 70 – 90 | 70 – 90 |
| | Nitrogênio (%) | 30 – 50 | 30 – 50 | 30 – 50 | 30 – 50 |
| | Fósforo (%) | 20 – 60 | 20 – 60 | 20 – 60 | 20 – 60 |
| | Coliformes (%) | 60 – 99 | 60 – 99,9 | 60 – 96 | 60 – 99 |
| REQUISITOS | Área (m ² /hab) | 2,0 – 5,0 | 1,5 – 3,5 | 0,3 – 0,6 | 0,2 – 0,5 |
| | Potência (w/hab) | 0 | 0 | 1,0 – 1,7 | 1,0 – 1,7 |
| CUSTOS | Implant. (U\$/hab) | 10 – 30 | 10 – 25 | 10 – 25 | 10 – 25 |

Fonte: Adaptado de VON SPERLING (2002).

Dentre as principais vantagens do uso de lagoas, quando comparadas a outros sistemas convencionais de tratamento de águas residuárias, destacam-se:

- Eficiência do tratamento – podem atingir elevado grau de remoção de matéria orgânica e organismos patogênicos excretados (bactérias, vírus, protozoários e helmintos), habilitando o efluente para posterior reúso. A matéria orgânica dissolvida no efluente das lagoas é bastante estável, encontrando-se, geralmente, DBO₅₋₂₀ na faixa de 30 a 50 mg/L. Se forem utilizadas lagoas em série, a remoção de coliformes fecais alcança até 99,9999% de eficiência;
- Flexibilidade – podem suportar os choques de carga orgânica e hidráulica, (permitindo o seu dimensionamento baseado na vazão média de esgotos) e, sob determinadas condições, são capazes de remover metais pesados em concentrações relativamente elevadas;
- Simplicidade – são sistemas de simples construção, operação e manutenção, e a principal fonte de energia requerida no processo de tratamento é proveniente da radiação solar e da energia liberada pelas reações químicas e bioquímicas

envolvidas no processo de degradação da matéria orgânica, em lugar de energia elétrica.

- Custos – são consideradas como o método mais barato de tratamento de águas residuárias, desde que haja local adequado (área e topografia), por não envolver elevados custos na construção e operação, além de não demandar mão-de-obra altamente especializada para operação e manutenção.

Como desvantagens do emprego de sistemas de lagoas de estabilização, devem-se considerar o seguinte:

- Elevados requisitos de área;
- Presença considerável de sólidos suspensos (algas) e remoção apenas razoável de nutrientes, motivo dos problemas de eutrofização nos corpos receptores dos efluentes produzidos no tratamento;
- Possibilidade de liberação de maus odores;
- Desempenho variável com as condições climáticas.

Com base nas vantagens e desvantagens no uso das lagoas de estabilização, é válido admitir que essa técnica de tratamento de esgotos em regiões de clima tropical é quase sempre considerada como a mais adequada para obtenção de um efluente final compatível com a categoria dos diversos corpos receptores utilizados, para lançamento de esgotos, notadamente no Nordeste Brasileiro.

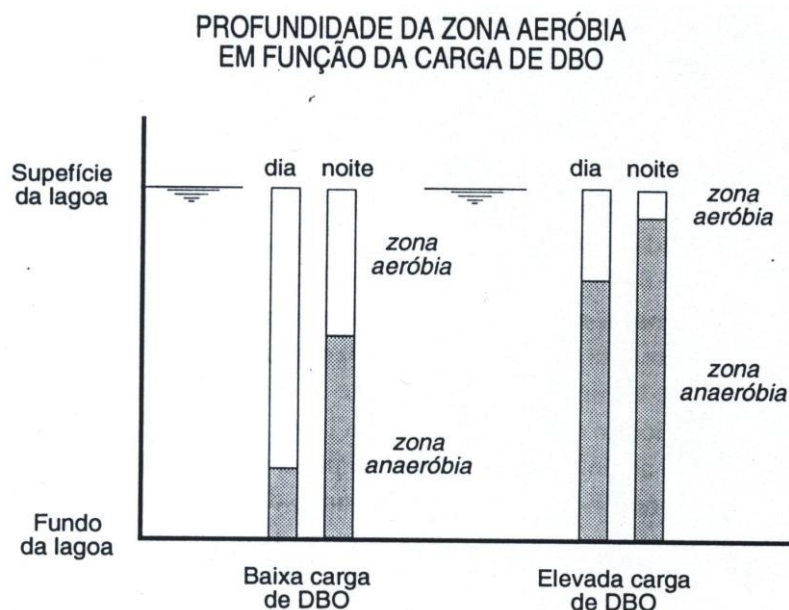
As lagoas facultativas são caracterizadas por promoverem a estabilização da matéria orgânica, utilizando os processos de oxidação aeróbia e redução fotossintética, na camada superior, e fermentação anaeróbia, na camada inferior, ao passo que predominam processos de oxigenação aeróbia e fotossintética numa interface intermediária entre estas duas camadas (JORDÃO; PESSOA, 2005).

A atividade biológica é grandemente afetada pela temperatura, principalmente nas condições naturais da lagoa. Desta forma, as lagoas de estabilização são mais apropriadas onde a terra é barata, o clima favorável e se deseja ter um método de tratamento que não requeira equipamentos ou uma capacidade especial dos operadores. Os custos são bastante competitivos, desde que os custos do terreno ou a necessidade de movimentos de terra não sejam excessivos (VON SPERLING, 2005).

A atividade fotossintética da biomassa de algas, nas lagoas facultativas, sofre variações diurnas significativas, uma vez que, durante o dia, a concentração de oxigênio dissolvido vai aumentando até atingir um valor máximo à tarde, quando então começa a diminuir, chegando a um valor mínimo durante a noite.

O pH também apresenta, tendência de variação durante o dia, devido à atividade fotossintética, já que as algas utilizam o dióxido de carbono dos íons carbonatos e bicarbonatos, levando a um excesso de íons hidroxilas, o que provoca o acréscimo no pH (MARA, 1976; CARVALHO, 1997 *apud* NUNES *et al.*, 2001).

A estratificação térmica é outro fator que intervém no mecanismo de tratamento de lagoas facultativas. Trata-se do fenômeno em que as camadas superiores tornam-se menos densas do que aquelas abaixo da termoclina (ponto na coluna de água da lagoa em que há grande decréscimo na temperatura), as quais não se misturam, provocando curtos-circuitos hidráulicos nas lagoas e, como consequência, diminuindo o desempenho do processo de tratamento (MENDONÇA, 1992; VON SPERLING, 1996; CARVALHO, 1997 *apud* NUNES *et al.*, 2001). Na Figura 5 é ilustrada a influência da carga da lagoa e da hora do dia na espessura das camadas aeróbias e anaeróbias, enquanto no Quadro 4, é mostrada a influência dos principais fatores externos.



Fonte: VON SPERLING (2005).

Figura 5 - Influência da carga da lagoa e da hora do dia na espessura das camadas aeróbias e anaeróbias.

Quadro 4 - Influência dos principais fatores ambientais externos nas lagoas de estabilização.

| FATOR | INFLUÊNCIA |
|----------------|---------------------------------------|
| Radiação Solar | Velocidade de fotossíntese |
| Temperatura | Velocidade de fotossíntese |
| | Taxa de decomposição bacteriana |
| | Solubilidade e transferência de gases |
| | Condições de mistura |
| Vento | Condições de mistura |
| | Reaeração atmosférica * |

* Mecanismo de menor importância

Fonte: VON SPERLING (2005)

As lagoas anaeróbicas são unidades de tratamento primário ou pré-tratamento de esgoto, dimensionadas para receber cargas orgânicas elevadas, que impedem a existência de oxigênio dissolvido no meio líquido (anaerobiose). Por não haver oxigênio dissolvido no meio líquido, a matéria orgânica ali presente é digerida anaerobicamente. Estes tipos de lagoas têm sido utilizadas para tratamento de esgotos domésticos e despejos industriais, predominantemente orgânicos, com alto teor de DBO, como frigoríficos, laticínios e bebidas.

A estabilização em condições anaeróbicas é lenta, pois as bactérias anaeróbicas reproduzem-se numa taxa vagarosa. As reações anaeróbicas geram menos energia do que as reações aeróbicas de estabilização da matéria orgânica. A temperatura do meio tem uma grande influência nas taxas de reprodução e estabilização, o que faz com que locais de clima favorável (temperatura elevada), como no Brasil, tornem-se propícios a este tipo de lagoa (VON SPERLING, 2005).

A profundidade é importante, no sentido de reduzir a possibilidade de penetração do oxigênio produzido na superfície para as demais camadas. Como as lagoas são mais profundas, a área requerida é bem menor. Estas lagoas não

requerem qualquer equipamento especial e têm um consumo de oxigênio praticamente desprezível.

O uso de lagoas anaeróbias tem sido reconhecido, em função de reduzir consideravelmente as áreas de terra requeridas, particularmente para grandes sistemas de lagoas, isto porque pode suportar elevadas cargas orgânicas, devido ao processo microbiológico ocorrer sob condições de total anaerobiose, podendo, contudo, serem construídas com grandes profundidades, estando as lagoas modernas operando com tempo de detenção mínimo de um dia (normalmente adota-se de dois a cinco dias). A sua inclusão numa série de lagoas pode reduzir em até 75% a área de terra requerida, a uma temperatura de projeto acima de 16 °C (CARVALHO, 1997 *apud* NUNES *et al.*, 2001).

A eficiência de remoção de DBO nas lagoas anaeróbias é da ordem de 50% a 60%. A DBO efluente ainda é elevada, implicando na necessidade de uma unidade posterior de tratamento. As unidades mais utilizadas para tal são as lagoas facultativas, compondo o *sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas* (sistema australiano).

A existência de uma etapa anaeróbia é sempre uma causa de preocupação, devido à possibilidade de geração de maus odores. Caso o sistema esteja bem equilibrado, a geração de mau cheiro não deve ocorrer, mas eventuais problemas operacionais podem conduzir à liberação de gás sulfídrico, responsável por odores fétidos. Por essa razão, o sistema australiano é, normalmente, localizado em áreas afastadas de residências (VON SPERLING, 2005).

Por outro lado, a lagoa aerada facultativa é utilizada, quando se deseja ter um sistema predominantemente aeróbio e de dimensões mais reduzidas que as lagoas facultativas ou o sistema de lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas.

A principal diferença, com relação à lagoa facultativa convencional, é quanto à forma de suprimento de oxigênio, pois na lagoa facultativa aerada, o oxigênio é obtido, principalmente, através de aeradores eletromecânicos, e nas facultativas convencionais o oxigênio tem origem na fotossíntese (VON SPERLING, 2005).

Devido à introdução de mecanização, essas lagoas são menos simples em termos de manutenção e operação, comparadas com as lagoas facultativas convencionais. A redução dos requisitos de área é conseguida, portanto, com uma

certa elevação do nível de operação, além da introdução do consumo de energia elétrica (MENDONÇA, 1990).

Segundo Von Sperling (2005), as lagoas facultativas convencionais sobrecarregadas e sem área para expansão podem ser convertidas em lagoas aeradas facultativas, através da inclusão de aeradores. É interessante prever esta possibilidade desde o período de projeto das lagoas facultativas, para que possam ser colocadas placas protetoras de concreto no fundo, abaixo dos aeradores, e para que seja selecionada uma profundidade que seja compatível com os futuros equipamentos de aeração.

O termo lagoa de maturação, segundo Kellner e Pires (1998), é dado àquela lagoa que recebe um afluente cuja DBO está praticamente estabilizada e o oxigênio dissolvido faz-se presente em toda a massa líquida. Essa unidade é destinada ao pós-tratamento dos esgotos, e, dentre seus objetivos destaca-se a remoção de nutrientes do tipo fósforo e nitrogênio presentes no esgoto afluente.

Devido à qualidade do líquido em seu interior, dependendo das condições climáticas do local, essas lagoas podem garantir significativas taxas de remoção de organismos patogênicos. Embora estes organismos sejam eliminados ao longo da série de lagoas, é na de maturação que sua remoção torna-se efetiva, pois possui como características todos os elementos necessários para promover a redução dos principais organismos patogênicos: oxigênio dissolvido, altos valores de pH e grande zona fótica, permitindo que os raios ultravioletas atinjam as camadas mais profundas.

Têm-se inúmeras evidências desse fato, devidamente registrado na literatura especializada (NUNES, 2010; BRITTO, 2004), notadamente para o efluente de esgoto tratado em lagoas de estabilização com arranjo em série, posto que, os parâmetros obtidos no efluente final deste tipo de tratamento situam-se dentro dos limites (≤ 1000 coliformes fecais/100mL) preconizados para o reúso irrestrito, tanto em fertirrigação como em piscicultura. Um dos exemplos mais bem sucedido desta prática foi realizado no Centro de Pesquisa sobre Tratamento de Esgotos e Reúso de Águas da Cagece / UFC, em Aquiraz – CE, onde diversos experimentos utilizaram o efluente de esgoto doméstico produzido por um sistema de quatro lagoas de estabilização em série (SANTOS *et al.*, 2009a,b).

2.4. Piscicultura

2.4.1. Aspectos gerais

Dentre os ramos da zootecnia, a aquicultura é aquele que trata do cultivo dos seres que têm na água seu principal ou mais frequente ambiente de vida. Embora a grande maioria das espécies hoje cultivadas seja de animais, alguns vegetais, representados por certas algas marinhas, são também produzidos na aquicultura.

As espécies animais mais comumente cultivadas em todo mundo, na atualidade, pertencem aos grupos dos peixes, dos crustáceos, dos moluscos e dos anfíbios. Portanto, é comum subdividir a aquicultura em outras modalidades, tais como a piscicultura (cultivo de peixes), a carcinicultura (cultivo de camarões), a ranicultura (cultivo de rãs), a ostreicultura (cultivo de ostras), a mitilicultura (cultivo de mexilhões), etc., (PROENÇA; BITTENCOURT, 1994).

A piscicultura é um dos ramos da aquicultura que se preocupa com o cultivo racional de peixes. Atualmente, a piscicultura, já bem conhecida, vem despertando interesse de todos, tanto em nível particular quanto governamental, por produzir alimento de alto valor protéico. A produção da aquicultura, que cresceu a uma taxa de 11% ao ano durante a última década, é um dos setores de maior desenvolvimento na economia alimentícia mundial.

A piscicultura é responsável por cerca de 45% de toda a produção da aquicultura mundial, que, atualmente, é de aproximadamente 60 milhões de toneladas, isto é, algo em torno de 27 milhões de toneladas produzidas anualmente (FAO, 2006). Considerando que a oferta de peixes provenientes da pesca extrativa está em declínio devido ao elevado nível de exploração (FAO, 2008), a aquicultura é, sem dúvida, a maneira mais econômica de se produzir alimento nobre, de alto valor nutritivo e a baixo custo.

O peixe, pelo fato de viver no ambiente aquático, apresenta uma série de vantagens para sua criação, dentre as quais se destacam os gastos de pouca energia metabólica para a excreção, respiração, locomoção, além de não apresentar a necessidade de manutenção da temperatura corporal. Daí ser um dos animais que mais aproveita os alimentos ingeridos (SEBRAE/RO, 2001).

Segundo Camargo; Pouey (2005), na atualidade, a produção comercial de organismos aquáticos de cultivo mais representativos inclui 98 espécies de peixes, 18 de crustáceos, 10 de moluscos e 20 de plantas, sendo que, do total da produção, 52% correspondem aos peixes, 24,4% às plantas aquáticas, 18,6% aos moluscos e 5% aos crustáceos.

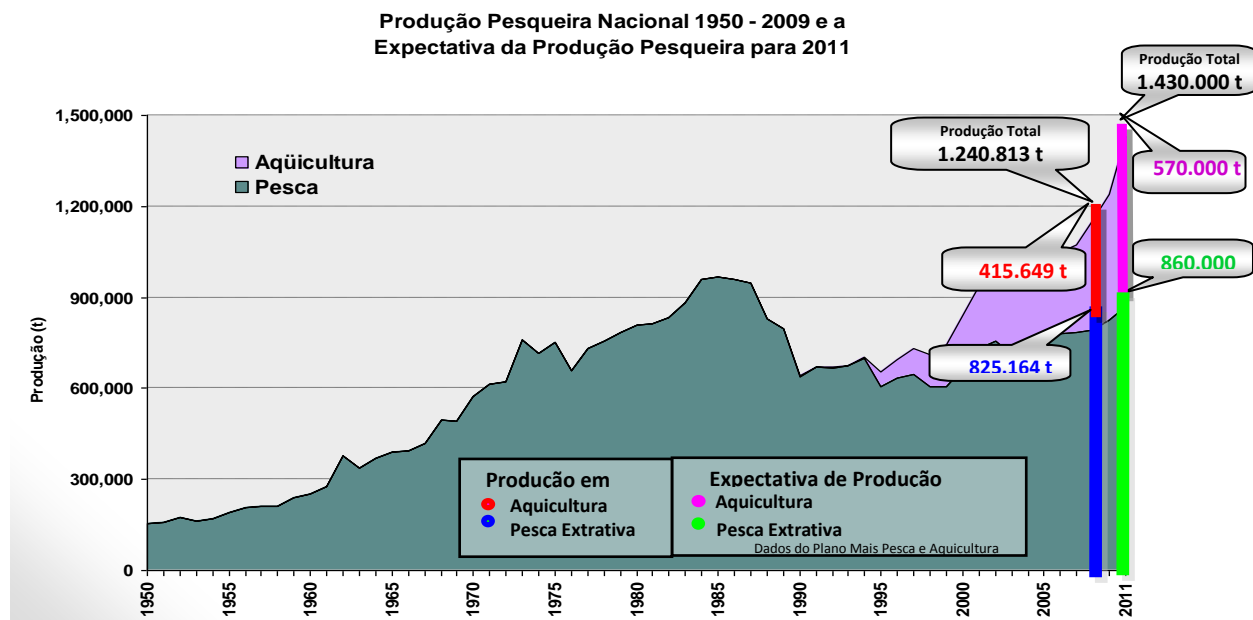
Os pescados perfazem 8,6% da produção global de alimentos, representando 15% do total de proteína de origem animal, sendo atualmente a quinta maior fonte de proteína, perdendo apenas para o arroz, produtos florestais, leite e trigo. O rápido crescimento da produção aquícola é resultado do relevante aumento da aquicultura no continente asiático (CAMARGO; POUEY, 2005).

No Brasil, o consumo *per capita* anual de pescado situa-se em torno de 6,9 kg/habitante/ano. Em outros países, esse consumo chega a ser dez vezes maior como, por exemplo, no Japão (71,9 kg/habitante/ano), em Portugal (60,2 kg/habitante/ano), e na Noruega (41,1 kg/habitante/ano). Sabe-se que, além do baixo consumo, o pescado brasileiro ocupa o quarto lugar na preferência do consumidor por carnes, ficando atrás da carne bovina, de frango e suína. Este fato, aliado com a condição de maior importador de pescado da América Latina, se apresenta como sendo um efetivo potencial, para o desenvolvimento da piscicultura nacional.

Segundo a Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca (SEAP, 2008), o Brasil produz hoje mais de um milhão de toneladas/ano de pescado, gerando um PIB pesqueiro de R\$ 5 bilhões, ocupando 800 mil profissionais entre pescadores e aquicultores e gerando 3,5 milhões de empregos diretos e indiretos. O potencial de crescimento é enorme e o Brasil pode se tornar um dos maiores produtores mundiais de pescado, pois possui condições extremamente favoráveis para o incremento da produção, por ter clima tropical e possuir 13,7% do total da reserva de água doce disponível no mundo, além 8,5 mil km de costa marítima, com uma Zona Econômica Exclusiva de 4 milhões de quilômetros quadrados, o que significa metade do território nacional (SEAP, 2008).

Em 2007, o setor pesqueiro nacional apresentou um crescimento na produção total na ordem de 2,0%, em relação a 2006, sendo que a pesca marinha apresentou um crescimento de 2,3% e a pesca continental um decréscimo de 3,2%. Entretanto, a maricultura apresentou um decréscimo no crescimento de 2,6% e a aquicultura continental se destaca com um crescimento de 10,2% (IBAMA, 2009).

A Figura 6, expressa os valores da produção pesqueira (t) da pesca extrativa e da aqüicultura no período de 1950 a 2009, incluindo a expectativa de produção para 2011 segundo o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA, 2010).



Fonte: Adaptado de MPA (2010)

Figura 6 - Produção total (t) da pesca extrativa e da aquicultura no período de 1950 à 2009 e expectativa de produção para 2011.

A piscicultura brasileira vem crescendo em um ritmo acelerado, com valores anuais da ordem de 25 a 30%, sendo este índice muito superior ao obtido pela grande maioria das atividades rurais tradicionais (IBAMA, 2009). A piscicultura está crescendo assim porque a lucratividade que pode apresentar para os empreendimentos é bastante satisfatória, produzindo um rápido retorno do capital investido pelo produtor rural.

Uma característica importante da piscicultura brasileira é o grande número de espécies criadas. Hoje, utilizam-se mais de 30 espécies, com os mais variados hábitos alimentares e ambientes de vida. Vão desde espécies de clima tropical (em sua grande maioria) até espécies de clima temperado e frio. E as que oferecem maior produção, em ordem de importância, são: as tilápias, os peixes redondos (pacu, *Piaractus*; tambaqui, *Colossoma* e seus híbridos) e as carpas (comum e chinesas). Outras espécies, porém, como os grandes bagres brasileiros (pintado, surubim e pirara), o dourado e os *Bricons* (matrinxã, piraicanjuba, piraputanga e piabanha), começam a despertar o interesse de criadores, não apenas pelo seu valor para a pesca esportiva como também pela facilidade de comercialização (SCORVO FILHO, 2009).

2.4.2. Sistemas de cultivos

Para que uma piscicultura comercial seja bem sucedida é preciso que a gestão do empreendimento seja desenvolvida com base nos preceitos da sustentabilidade econômica, social e ambiental e, para que tais objetivos sejam alcançados, o piscicultor tem a possibilidade de optar por várias alternativas de intensidade de manejo ou cultivos. Dentre os sistemas de cultivos comumente adotados, Muehlenann *at al.* (2004) consideram os seguintes:

- **Sistemas Extensivos:** sistemas conduzidos praticamente sem despesas com insumos, mão de obra ou manejo da água e dos peixes. O custo de produção é basicamente a aquisição e transporte dos alevinos. A produção dos peixes depende do alimento natural, o que é reflexo da qualidade e fertilidade natural da água. A produtividade é extremamente baixa, situando-se entre 200 e 500 kg/ha/ano. A produtividade, também, é bastante variável conforme a espécie utilizada, e o policultivo têm apresentado o melhor resultado.
- **Sistemas semi – intensivos:** a produtividade depende, principalmente, da taxa de estocagem dos peixes e do tipo e qualidade da alimentação complementar utilizada. Em geral, tem-se produtividade situada entre 2.000 e 6.000 kg/ha/ano. Neste sistema a produção de alimentos naturais é estimulada através de adubações orgânicas ou químicas. A alimentação é complementada pelo uso de grãos ou subprodutos da agricultura ou por rações balanceadas em determinados períodos da produção. O custo de produção inclui os corretivos e fertilizantes usados no manejo da qualidade da água, a aquisição e manejo dos peixes, a alimentação complementar e a mão de obra envolvida em toda gestão do empreendimento.
- **Sistemas Intensivos:** a produtividade varia conforme as condições climáticas locais e as espécies produzidas, situando-se entre 6.000 e 12.000 kg/ha/ano. O alimento natural possui importância somente na fase inicial, ou seja, no povoamento com os alevinos, e toda produção é dependente de alimentos balanceados específicos para cada fase da criação ou tamanho dos peixes. O fornecimento obedece rigorosamente tabelas específicas com ajustes na

quantidade em função do tamanho dos peixes e da temperatura da água. A água é monitorada periodicamente para verificação da qualidade; a renovação da água ou o uso de corretivos e fertilizantes são realizados sempre que for necessário. É imprescindível o uso estratégico de aeradores, principalmente no período final do ciclo de produção.

Cada sistema apresenta diferentes níveis de produtividade. Na Tabela 2 é apresentado o potencial de produção da tilápia e do catfish americano em seis diferentes tipos de manejo. Observando os números apresentados, fica claro que realmente existem diferentes opções de manejo e de investimento à disposição do piscicultor, que deverá escolher segundo suas pretensões e possibilidades.

Tabela 2 - Produtividade que pode ser alcançada em diferentes níveis de manejo nos cultivos de tilápias e de Catfish americano.

| Nível de Manejo | Produção Total (kg/safra) | |
|--|---------------------------|-------------------|
| | Tilápia | Catfish Americano |
| 1.Cultivo onde o único trabalho é fazer o povoamento dos tanques (peixamento). | 200-500 | 50-100 |
| 2. Povoamento seguido de aplicação periódica de fertilizantes (químicos, orgânicos ou ambos) sem fornecimento de rações. | 1.000-3.000 | 200-300 |
| 3.Povoamento, aplicação de fertilizantes e arraçoamento para complementação da alimentação dos peixes. | 3.000-4.000 | 1.500- 2.500 |
| 4.Povoamento e alimentação a base de rações comerciais. | 4.000-6.000 | 3.000- 4.500 |
| 5.Povoamento, arraçoamento, aeração e trocas periódicas de água. | 6.000- 8.000 | 4.000-5.000 |
| 6.Povoamento, arraçoamento, aeração e trocas contínua de água. | 5.000-30.000 | 12.000-15.000 |

Fonte: Adaptada de Ostrensky; Boeger (1998).

Na Tabela 3 são apresentadas informações de algumas características biológicas, de manejo e mercadológicas das principais espécies de peixes cultivadas no Brasil.

Tabela 3 - Algumas características biológicas, de manejo e mercadológicas das principais espécies de peixes cultivadas no Brasil.

| Peixes > | Tilápias (<i>Oreochromis sp</i>) | Pacu (<i>Plaractus mesopotamicus</i>) | Tambacu(*) | Piauçu, piau (<i>Leporinus sp</i>) | Curimatá (<i>Prochilodus sp</i>) | Bagre africano (<i>Clarias galerpinus</i>) | Carpa comum (<i>Cyprinus Carpio</i>) | Carpa capim (<i>Ctenopharyngodon Idella</i>) | Carpa C.grande (<i>Aristichthys nobilis</i>) |
|--------------------------------|--|--|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---|---|---|---|
| Variáveis | | | | | | | | | |
| Hábito alimentar na natureza. | Fitoplantófago omnívoro | Onívoro | Não existe na natureza | Onívoro | Iliófago | Onívoro | Omnívoro Planctófago e bentófago | Herbívoro | Planctófago |
| Hábito alimentar em cultivo. | Ração extrusada balanceada, plâncton. | Ração extrusada balanceada, | Ração extrusada balanceada, | Ração extrusada balanceada, | Algas do fundo do viveiro. | Ração extrusada balanceada, | Ração extrusada balanceada, plâncton. | Ração extrusada balanceada, | Plâncton. |
| Taxas diárias de arraçoamento. | 2 a 5 % do peso vivo. | 2 a 6 % do peso vivo. | 2 a 5 % do peso vivo. | 2 a 5 % do peso vivo. | Não se aplica *** | 2 a 5 % do peso vivo. | 1 a 4% do peso vivo. | Não se aplica *** | Não se aplica ** |
| Taxa de conversão alimentar. | 1,2:1 | 1,5:1 - 2:1 | 1,5:1 - 2:1 | 1,5:1 - 2:1 | Não se aplica | 1,5:1 | 2:1 | Não se aplica | Não se aplica |
| Limites de Temperatura. | 18 a 30°C | 20 a 30°C | 28 a 30°C | 18 a 30°C | 20 a 30°C | 18 a 30°C | 16 a 28°C | 16 a 28°C | 16 a 28°C |
| pH ideal da água. | 6 a 8 | 6 a 8 | 6 a 8 | 6 a 8 | 6 a 8 | 6 a 8 | 6 a 8 | 6 a 8 | 6 a 8 |
| Oxigênio Dissolvido (min). | 0,8 mg/l | 1,5 mg/l | 1,5 mg/l | 2,0 mg/l | 1,0 mg/l | 0,8 mg/l | 1,5 mg/l | 2,0 mg/l | 2,0 mg/l |
| Transparência da água. | 25 a 45 cm | 25 a 45 cm | 25 a 45 cm | 25 a 45 cm | 25 a 45 cm | 15 cm | 5 a 30 cm | 25 a 45 cm | 25 a 45 cm |
| Sistema de cultivo | Monocultivo. | Monocultivo ou policultivo. | Monocultivo ou policultivo. | Monocultivo ou policultivo. | Policultivo. | Monocultivo e consórcio. | Monocultivo ou policultivo e consórcio. | Policultivo e consórcio. | Policultivo e consórcio. |
| Densidade de cultivo. | 1 a 5 (peixes /m ²) | 0.5 a 2 (peixes /m ²) | 0.5 a 2 (peixes /m ²) | 1 a 2 (peixes /m ²) | 1 (peixes /20 m ²) | 1 a 4 (peixes /m ²) | 0.5 a 1 (peixes /m ²) | 1 (peixes /20 m ²) | 1 (peixes /20 m ²) |
| Tempo de cultivo. | 6 a 12 meses | 8 a 14 meses | 8 a 14 meses | 12 a 14 meses | 12 meses | 8 a 12 meses | 12 meses | 12 meses | 12 meses |
| Peso de Venda. | 0,3 a 0,6 kg | 1 a 2 kg | 1 a 2 kg | 0,8 a 1,5 kg | 1 a 1,5 kg | 1 a 1,5 kg | 1 a 3kg | 2 a 5 kg | 3 a 8 kg |
| Peso máximo | 5 kg | 18 kg | 27 kg | 8 kg | 13 kg | 15 kg | 25 kg | 20 kg | 25 kg |
| Mercado Principal | Pesca Esportiva consumo In natura e Ind. | Pesca Esportiva | Pesca Esportiva | Pesca Esportiva | Pesca Esportiva | Pesca Esportiva Industrialização | Pesca Esportiva consumo In natura | Pesca Esportiva | Pesca Esportiva |

Fonte: Adaptado de Ostrensky; Boeger (1998).

(*) Tambacu – Híbrido resultante do cruzamento do Pacu com o Tambaqui.

(**) Hábitos Alimentares: **Fitoplanctófago** (peixes que se alimentam de fitoplancton, que são as algas, ou vegetais microscópicos que se desenvolvem nas águas), **Zooplanctófago** (peixes que se alimentam do zooplâncton, que são animais microscópicos que se desenvolvem nas águas), **Onívoro** (peixe que aceita diversos tipos de alimentos orgânicos disponíveis no viveiro), **Iliófago** (peixes que ingerem a lama do fundo dos tanques, para se alimentar de pequenos animais, algas e bactérias que existem nela), **Bentófago** (peixes que se alimentam de organismos bentônicos, que se desenvolvem no fundo dos viveiros, sem ter que ingerir a lama ali depositada), **Herbívoro** (peixes que se alimentam de vegetais superiores e forragens verdes), **Carnívoros** (peixes que se alimentam de animais, geralmente outros peixes);

(***) Essas espécies são normalmente cultivadas em sistema de policultivo e usam bem o alimento natural presente no viveiro.

2.4.3. Qualidade da água para piscicultura

A qualidade da água em um tanque de piscicultura é resultado de influências externas (por exemplo, qualidade da fonte de água, características do solo, clima, introdução de alimentos – ração) e internas (densidade de peixes, interações físico – químicas e biológicas). Um tanque de piscicultura é um ambiente aquático complexo e dinâmico, e abriga comunidade biótica também complexa, composta de organismos produtores primários (fitoplâncton, perifíton e, por vezes, macrófitas), heterotróficos (os próprios peixes, zooplâncton e zoobentos) e decompositores (bactérias e fungos). A qualidade da água do viveiro depende do equilíbrio estabelecido nesta comunidade (BASTOS *et al.*, 2003).

Os peixes dependem da água para realizar todas as suas funções vitais, ou seja: respirar, alimentar, reproduzir e excretar. Portanto, manter a qualidade da água utilizada nos cultivos é de fundamental importância para produzir peixes de qualidade (OSTRENSKY; BOEGER, 1998). Na água, utilizando os gases, minerais dissolvidos e a luz solar, quando a temperatura é adequada, se desenvolve grande quantidade de microorganismos, que no conjunto são chamados de plâncton.

O plâncton, que é a denominação dada para o conjunto dos microorganismos do fitoplâncton e do zooplâncton, pode melhorar ou prejudicar as condições de cultivo dos peixes nos viveiros, dependendo da forma como é manejado (MUENHLEMAN, *et al.*, 2004). De acordo com Bastos *et al.* (2003), dentre os principais parâmetros de qualidade da água de interesse na piscicultura destacam-se: transparência, pH, alcalinidade, OD, condutividade elétrica, temperatura, nutrientes (N-nitrogênio: NH₃,

NO_2^- , NO_3^- ; P – fósforo: total, ortofosfato) e clorofila.

- **Temperatura:** A temperatura é um fator determinante no metabolismo dos organismos produtores primários e decompositores, e na solubilidade dos gases. Provoca importantes reações no metabolismo animal, e no ambiente, temperaturas extremas, máximas ou mínimas, diminuem o apetite e por conseqüência o desenvolvimento dos animais; variações na temperatura afetam a constante de solubilidade de gases, alterando a quantidade de oxigênio dissolvido.
- **Transparência:** é medida, nos viveiros de piscicultura, com o uso do disco de Secchi e definida como a profundidade média em que não mais é possível visualizar o disco submerso que é fixado em uma escala graduada ou cabo métrico. Indica, em termos, a profundidade de penetração da luz solar na massa líquida, definindo, deste modo, a zona fótica (região de ocorrência da fotossíntese); portanto, fatores como presença de plâncton, partículas de argila e matéria orgânica em suspensão diminuem substancialmente a transparência do meio. Por outro lado, a transparência excessiva possibilita o desenvolvimento de plantas no fundo do viveiro, o que não é bom para o cultivo. A transparência recomendada para águas de cultivo de peixes situa-se entre 20 a 60 cm.
- **pH e Alcalinidade:** O pH é um parâmetro que informa a condição ácida ou básica da água dos viveiros. Isto influi na produtividade de plâncton e indiretamente na condição de vida dos peixes, pois interfere na solubilidade e toxicidade de diversas substâncias como metais pesados, amônia e gás sulfídrico. O pH varia ao longo do dia, sendo, normalmente, mais baixo no período matutino e se eleva no período vespertino. Para o cultivo de peixes, admite-se como satisfatório o pH que esteja na faixa de 6,5 a 9,0. A alcalinidade identifica a presença e concentrações de bicarbonatos, de carbonatos e determina a dureza por carbonatos na água. A alcalinidade recomendada para o cultivo dos peixes deve ser maior que 20 mg de CaCO_3 (Carbonato de Cálcio) por litro d'água, entretanto, águas naturais com alcalinidade de 40mg/L ou mais são bastante produtivas.

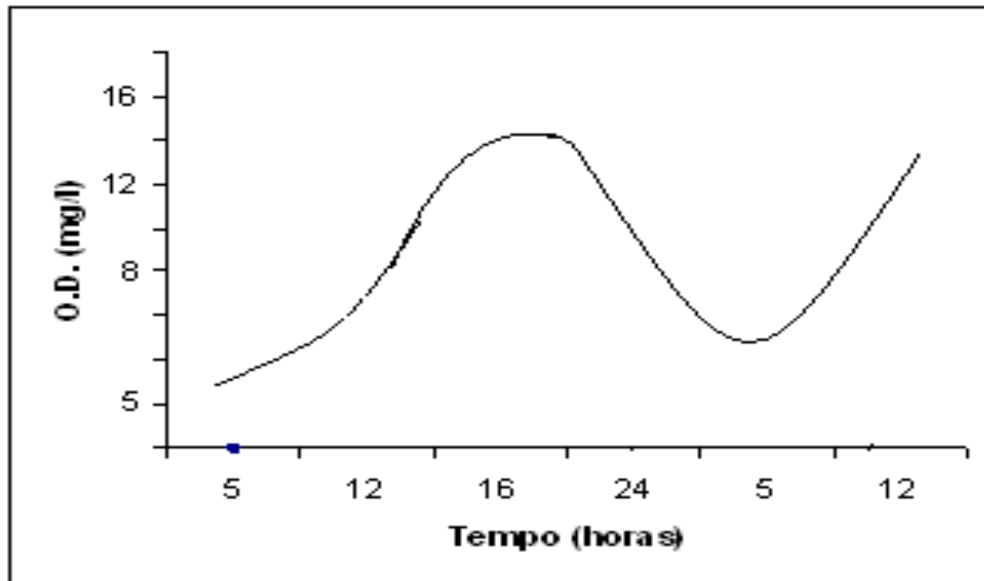
A Figura 7 mostra uma escala colorimétrica, com uma graduação relativa a influencia do pH no desenvolvimento dos peixes em viveiros de cultivo.



Fonte: Desenho de Marlene S.R. Chaves. Muenhlemann *et al.* (2004),

Figura 7- Influência do pH no desenvolvimento dos peixes.

- Oxigênio Dissolvido:** Dentre os parâmetros avaliados para fins de identificação da qualidade d'água a ser utilizado na piscicultura, o teor de oxigênio dissolvido (OD) na água dos viveiros de cultivo assume destacada importância, pois a vida dos peixes e dos demais organismos presentes neste ambiente depende diretamente da mínima disponibilidade de oxigênio, compatível com a demanda própria de cada espécie. As principais fontes de oxigênio para água dos tanques são: atmosfera; água de abastecimento e, principalmente, o fitoplancton.
- De acordo com Muenhlemann *et al.*(2004), o fitoplancton é o maior incorporador de oxigênio para a água durante o dia e, à noite é, também, o maior consumidor. Portanto, as variações de OD nos viveiros de peixes decorrem principalmente da fotossíntese e respiração e, as variações diárias podem envolver a crescente saturação durante o dia até a supersaturação ao final do dia e durante a noite tem-se acentuada queda na disponibilidade de OD. Esta afirmativa pode ser demonstrada na Figura 8. A concentração ideal de OD na água dos viveiros deve situar-se entre 4 e 10 mg/ L.



Fonte: Boyd, 1990, adaptado por SANTOS. E.S.(2008).

Figura 8 - Comportamento do OD ao longo do dia em função da fotossíntese e respiração na água.

- Condutividade elétrica:** A condutividade é uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água, e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de nutrientes e ou poluentes. De acordo com Bastos *et al.* (2003), quando se tem valores elevados para condutividade, indica uma expressiva decomposição, e também é possível que se verifique uma acentuada e prejudicial salinidade do ambiente. Quanto aos valores baixos para condutividade, isto pode significar uma intensa produção primária.
- Nitrogênio:** Diferentes espécies de peixes, nos diversos estágios de vida, apresentam tolerância variada em relação às diversas formas de nitrogênio. Em geral, os níveis letais são: amônia (0,6 - 2,0 mg/L), nitrito (0,5 mg/L), nitrato (5,0 mg/L). A forma mais tóxica é a amônia, como amônia livre (NH₃). Em ambientes eutrofizados, o consumo de CO₂ acarreta elevação do pH e a predominância da amônia livre em relação ao íon amônio (NH₄⁺); por outro lado, a amônia livre é passível de volatilização. Assim, os efeitos tóxicos da amônia serão resultados do pH da água e da intensidade de perda por volatilização (BASTOS *et al.*, 2003).

A amônia presente nos viveiros é proveniente de diversas fontes, tais como: decomposição dos restos de ração não consumidos, morte do fitoplancton e excreção dos peixes (a degradação de qualquer material que tenha proteínas irá liberar amônia na água). Parte da amônia presente nos cultivos é transformada em nitrito, graças à ação de bactérias denominadas *Nitrosomonas*. Por isso, assim como a amônia, em praticamente todos os cultivos de peixes são encontradas concentrações de nitritos acima daquelas presentes normalmente na natureza (OSTRENSKY; BOEGER, 1998).

As bactérias do grupo *Nitrobacter* transformam o nitrito presente na água em nitrato, que praticamente não é tóxico para os peixes, mesmo em elevadas concentrações, por isso, não representa qualquer problema para piscicultura.

- **Fósforo:** Segundo Bastos *et al.* (2003), o fósforo é considerado o elemento limitante da produtividade de um viveiro, por ser nutriente essencial a toda cadeia alimentar e, em geral, apresentar-se em baixas concentrações na água. A forma predominante do fósforo em águas de tanques de piscicultura é o ortofosfato, prontamente assimilável pelo fitoplancton, fonte de nutrientes para os peixes.
- **Algas e Clorofila-a:** As microalgas são vegetais microscópicos, que medem milésimos ou centésimos de milímetros. Normalmente, flutuam na coluna d'água, principalmente na camada mais superficial, e formam o que se denomina de fitoplâncton. Quando proliferam excessivamente, causam os chamados blooms, capazes de prejudicar os peixes em função do desequilíbrio que esta produção exagerada provoca nos sistemas de cultivos (PROENÇA; BITTENCOURT, 1994).

As algas mais comuns são as verdes (clorofíceas), mas registra-se a presença, neste ambiente aquático, de algas verdes – azuladas (cianofíceas) e até as algas vermelhas (rodofíceas). Algumas destas algas, como as cianofíceas, são produtoras de toxinas letais aos peixes e tóxicas ao ser humano. Várias espécies de peixes consomem unicamente as microalgas que formam o fitoplâncton, como o caso das carpas prateadas (PROENÇA; BITTENCOURT, 1994).

A clorofila-a é uma medida da produtividade primária e do estado trófico do ambiente aquático. Bastos *et al.* (2003) referem-se a Tavares (1994), que cita valores de clorofila-a em viveiros de peixes não fertilizados e fertilizados, respectivamente, da ordem de 3 -100 µg/L e 100 - 800 µg/L.

Alguns autores sugerem que a relação N:P é um dos principais fatores determinantes na dominância de clorófitas ou cianófitas. Em baixa relação N:P, as algas cianófitas são beneficiadas por apresentarem maior capacidade de obtenção do nitrogênio; se a relação for mais alta, (>5) as clorófitas tendem a dominar (BASTOS *et al.*, 2003).

- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO):** é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. Normalmente, é considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de cinco dias numa temperatura de incubação de 20°C é freqüentemente usado e referido como DBO_{5, 20}. Os maiores aumentos em termos de DBO_{5, 20}, num corpo d'água são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática.
- **Demanda Química de Oxigênio (DQO):** quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica por meio de um agente químico. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO_{5, 20}, sendo o teste realizado num prazo menor. O aumento da concentração de DQO num corpo d'água se deve principalmente a despejos de origem industrial. A DQO é um parâmetro indispensável nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais. A DQO é muito útil quando utilizada conjuntamente com a DBO_{5, 20} para observar a biodegradabilidade de despejos. Sabe-se que o poder de oxidação do dicromato de potássio é maior do que o que resulta mediante a ação de microrganismos, exceto raríssimos casos como hidrocarbonetos aromáticos e piridina. Desta forma, os resultados da DQO de uma amostra são superiores aos de DBO_{5, 20}.

Como na $DBO_{5,20}$, mede-se apenas a fração biodegradável, quanto mais este valor se aproximar da DQO significa que mais facilmente biodegradável será o efluente.

2.4.4. Aspectos sócios – econômicos

Segundo a Secretaria Especial de Aqüicultura e Pesca (2008), a produção de pescado é uma grande oportunidade para o Brasil produzir proteína nobre e gerar milhões de postos de trabalho, emprego e renda de forma sustentável, somente aproveitando o vasto território de águas que o país tem. Sem falar que, além de grandes espaços, tem clima e espécies adequadas, condições essenciais para ser um dos maiores produtores de pescado cultivado no mundo.

O programa “Mais Pesca e Aqüicultura”, Plano de Desenvolvimento Sustentável (2008-2011), tem, dentre seus importantes objetivos, recuperar estoques pesqueiros na costa brasileira e nas águas continentais e desenvolver a pesca oceânica e o grande potencial da aqüicultura brasileira em águas da União e em empreendimentos rurais. Para isso, são previstos importantes investimentos, focados na superação dos entraves para o desenvolvimento sustentável do setor aquícola e pesqueiro. Mas, estruturar a cadeia produtiva é o maior dos desafios para garantir o aumento e regularidade de oferta, qualidade e renda aos pescadores e aqüicultores, bem como um preço acessível aos consumidores.

Os valores sociais agregados à atividade aquícola em piscicultura, com o uso de esgotos tratados, estão vinculados à capacidade de geração de emprego e renda que os empreendimentos desta natureza, comprovadamente, ofereçam. Esta perspectiva se apresenta, na prática, com grande potencialidade, mas com importantes obstáculos a serem superados, posto que, tais dificuldades vão do preconceito à sensibilização de organismos oficiais, para concessão do necessário apoio a iniciativas como esta.

2.5. Reúso de águas

2.5.1. Aspectos gerais

A água foi por muito tempo considerada pela humanidade como um recurso inesgotável e, talvez por isso, mal gerido. Não faltam exemplos de escassez de água doce, observada pelo abaixamento do nível dos lençóis freáticos, o “encolhimento” dos lagos, e a secagem dos pântanos. Por outro lado, cresce em todo mundo a consciência em torno da importância, do controle de perdas e desperdícios e do reúso da água (FLORÊNCIO *et al.*, 2006a).

Reúso de água oferece uma alternativa de abastecimento de água que está constantemente disponível nas áreas urbanas, mesmo durante os anos de seca, para usos benéficos. No entanto, devido a sua origem, a partir de águas residuárias urbanas, tradicionalmente conhecidas como esgoto, a aceitação da água recuperada como fonte alternativa de suprimento d’água, tem que superar muitos obstáculos (METCALF; EDDY, 2005).

Por outro lado, o reúso da água é considerado uma opção inteligente no mercado mundial. A necessidade de aplicação desta tecnologia está na própria condição de sustentabilidade dos recursos ambientais. As técnicas de tratamento de efluentes disponíveis podem ser aplicadas de acordo com a necessidade, o custo e objetivo que se desejam alcançar.

Nas regiões áridas e semi-áridas, a água é um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola, sendo necessária a busca de novas fontes de recursos, para complementar a pequena oferta hídrica ainda disponível. Muitas regiões com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender às demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida (MANCUSO *et al.*, 2003 *apud* D’ALKMIN TELLES; GUIMARÃES COSTA, 2007).

O problema da água resulta, principalmente, em 03 (três) fatores: má distribuição dos recursos hídricos utilizáveis; aumento do consumo, principalmente nas atividades que utilizam mais água – agricultura, indústria e abastecimento humano; degradação causada pela poluição e pelo mau uso do solo. Há, portanto, necessidade de que sejam adotadas medidas de uso racional e reaproveitamento da

água, e de controle da poluição de recursos hídricos, como forma de garantir a sua disponibilidade, hoje e sempre. A tendência atual é considerar a água residuária tratada como um recurso hídrico a ser utilizado para diversos fins. O reúso de águas constitui, assim, uma prática a ser incentivada em várias atividades humanas (MOTA *et al.*, 2007).

Com a política do reúso, importantes volumes de água potável podem ser poupados, usando-se a água de qualidade inferior, geralmente efluentes secundários pós-tratados, para atendimento de finalidades que podem prescindir da potabilidade (ABES, 1997 *apud* D'ALKMIN TELLES; GUIMARÃES COSTA, 2007).

Além do mais, dentre as possíveis alternativas do reúso, destaca-se a utilização de esgotos tratados, como uma ação efetiva no controle da poluição das águas e no aumento da disponibilidade de água para fins mais nobres (potabilidade) em regiões com significativa carência de recursos hídricos. Adicionalmente, esta prática pode evitar ou pelo menos reduzir o lançamento de esgotos em corpos d'água, posto que, os esgotos, mesmo tratados, oferecem riscos de poluição, os quais são maiores onde há pouca ou nenhuma água para diluí-los, como é o caso da região semi-árida do Nordeste brasileiro (MOTA *et al.*, 2007).

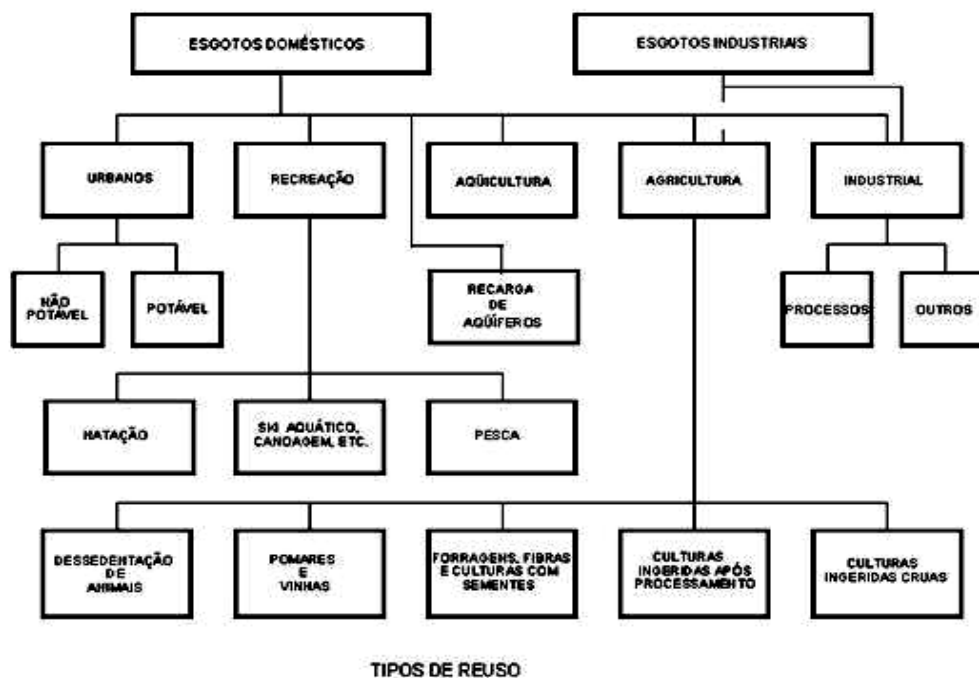
De maneira geral, o reúso da água pode ocorrer de forma direta ou indireta, por meio de ações planejadas ou não. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (1973) *apud* Mancuso *et al.* (2003), tem-se:

- *Reúso indireto*: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída;
- *Reúso direto*: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;
- *Reciclagem interna*: é o reúso da água internamente às instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

Essa mesma publicação diferencia o reúso indireto intencional do não intencional, estabelecendo que, quando o reúso indireto decorre de descargas planejadas a montante, ou recargas planejadas no aquífero subterrâneo, ele é designado reúso indireto intencional. Por outro lado, para fins de uniformização de terminologia, Mancuso *et al.* (2003), citando Lavrador Filho (1987), apresentam a seguinte nomenclatura para as variações de reúso de água:

- *Reúso de Água:* é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original. Pode ser direto ou indireto, bem como decorrer de ações planejadas ou não.
- *Reúso indireto não planejado de água:* ocorre quando a água, já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Neste caso, o reúso da água é um subproduto não intencional da descarga de montante. Após sua descarga no meio ambiente, o efluente será diluído e sujeito aos processos como autodepuração, sedimentação, entre outros, além de eventuais misturas com outros despejos advindos de diferentes atividades humanas.
- *Reúso planejado de água:* ocorre quando o reúso é resultado de uma ação humana consciente, adiante do ponto de descarga do efluente a ser usado de forma direta e indireta. O reúso planejado de águas pressupõe a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso que se deseja fazer da água. O reúso planejado também pode ser denominado “reúso intencional da água”.
- *Reúso indireto planejado de água:* ocorre quando os efluentes, depois de convenientemente tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos d’água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada, no intuito de algum uso benéfico.
- *Reúso direto planejado da água:* ocorre quando os efluentes, após devidamente tratados, são encaminhados diretamente do seu ponto de descarga até o local do reúso. Assim, sofrem em seu percurso os tratamentos adicionais e armazenamentos necessários, mas não são, em momento algum, descarregado no meio ambiente.
- *Reciclagem de água:* é o reúso interno da água, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição, para servir como fonte suplementar de abastecimento do uso original. É um caso particular do reúso direto.

Com base na Figura 9 e na Tabela 4, tem-se uma ampla visão das potencialidades de reúso da água proveniente de estações de tratamento de esgotos e as aplicações possíveis, mercê das características e uso destes efluentes.



Fonte: adaptado de Hespagnol (1997).

Figura 9 – Formas potenciais de reúso de água.

Tabela 4 - Reúso de águas: tipos e usos.

| TIPOS | USOS |
|-------------------------|--|
| URBANO | Fins Potáveis; Irrigação de parques e jardins públicos; Irrigação de jardins em edificações; Descarga em aparelhos sanitários; Reserva para controle de incêndio; Decoração aquática: espelhos d'água e chafarizes; Lavagem de ruas, praças e pátios; Lavagem de trens e ônibus públicos; Controle de poeiras; Construção civil: preparo de concreto, compactação do solo; Desobstrução de tubulações. |
| AGRICULTURA | Irrigação de culturas alimentícias ou não; Dessedentação de animais; Hidroponia; Produção de forragens para animais; Cultivo de florestas plantadas, áreas de reflorestamento. |
| INDUSTRIAL | Irrigação de jardins; Lavagens de peças e pisos; Água para caldeiras; Torres de resfriamento; Processo industrial. |
| AQUICULTURA | Criação de animais; Piscicultura; Cultivo de vegetais aquáticos. |
| REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES | Aumento da vazão de cursos de água; Manutenção de vazões ecológicas. |
| RECREAÇÃO | Esportes aquáticos; Pesca esportiva; |
| RECARGA DE AQUÍFERO | Aumento da disponibilidade de água subterrânea; Prevenção da subsidência do solo; Tratamento adicional de esgotos; Controle da intrusão de água salina. |

Fonte: Adaptado de Mota *et al.* (2007)

Outra forma de classificar o reúso de águas foi proposta por Westerhoff (1984), citado por Mancuso *et.al* (2003), ao definir duas grandes categorias para este processo. Ou seja, o reúso seria classificado em potável e não potável. Mas, deve ser considerada sempre a questão dos riscos associado ao reúso de águas, pois, de acordo com Mancuso *et.al* (2003), ainda é objeto de vários estudos em razão das dúvidas que persistem, principalmente as que envolvem questões de saúde pública. Por esse motivo, adotam-se dois princípios gerais para avaliação do risco sanitário:

- O reúso não potável é mais seguro que o reúso potável;
- O reúso indireto, em que o processo de recuperação da qualidade inclui um estágio controlado de depuração na natureza, é mais seguro do que o reúso direto.

É possível estabelecer, portanto, como regra geral para uma primeira aproximação sobre os riscos sanitários associados ao reúso de águas, a seguinte modalidade de reúso, por ordem crescente de riscos sanitários:

1. Reúso não potável indireto; 2. Reúso não potável direto; 3. Reúso potável indireto; 4. Reúso potável direto.

2.5.2. Utilização de esgoto sanitário em piscicultura

Um claro atrativo para a utilização de esgotos sanitários na piscicultura é a oferta de água. Considerando uma contribuição per capita de esgotos de 150 – 200 L hab⁻¹ dia⁻¹, e uma demanda genérica de água para piscicultura de 10 L s⁻¹ ha⁻¹, constata-se que os esgotos produzidos por pessoa seriam suficientes para suprir uma área de cultivo de peixes de 1,7- 2,3 m²; ou seja, uma população de 10.000 habitantes produziria “água” para o cultivo de peixes em 2 ha. Em geral, a criação intensiva envolve taxas de renovação volumétrica diária de 10% até 100%, dependendo da qualidade da água, da densidade de peixes, fatores climáticos e da produtividade desejada (BEVILACQUA *et al.*, 2006).

A piscicultura, desde a sua concepção, foi feita sob a prática do reúso, pois há muito tempo eram cultivados peixes dentro dos sistemas de abastecimento das cidades, as chamadas “*piscinae*”, de onde veio a origem do termo piscicultura, assim como também tem sido bastante comum a associação do cultivo com outros animais como, porcos, marrecos, cabras, galinhas, para utilização das suas fezes para a fertilização da água.

O esterco aumenta a quantidade de matéria orgânica na água, incrementando assim a produtividade primária, que é uma fonte rica de proteínas que pode ser aproveitada pelo homem por meio da assimilação destas pelos peixes (SANTOS, 2008). As lagoas de estabilização, e particularmente as lagoas de polimento e de maturação, são ambientes bastante similares aos tanques de piscicultura, em termos de morfometria e de dinâmica da qualidade da água. Além do que, os efluentes produzidos por estas unidades de tratamento, ainda são ricos em nutrientes do tipo Fósforo e Nitrogênio, muito necessários ao desenvolvimento do plâncton.

O valor nutricional do fitoplâncton e do zooplâncton produzidos em lagoas de estabilização, principalmente para as primeiras fases de vida dos peixes, é reconhecido pela grande importância no desenvolvimento destes animais. Dentre o fitoplâncton típico de lagoas de estabilização, tendem a predominar as algas verdes (por exemplo, *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Ankistrodemus*, *Chlamydomonas*) e pigmentadas (por exemplo, *Euglena*, *Phacus*), porém, em regiões de temperaturas elevadas, podem se tornar dominantes as algas verdes – azuladas e as cianobactérias do tipo: *Agnemellum*, *Microcysts*, *Oscillatoria* (EDWARDS, 1992 *apud* BASTOS *et al.*, 2003). A produção de fitoplâncton em lagoas facultativas é da ordem de 1.000 a 3.000 mg de clorofila-a /L (60-200mg de biomassa de fitoplâncton/L), (MARA; PEARSON, 1986 *apud* BASTOS *et al.*, 2003).

Portanto, destaca-se que os processos de reúso, comumente adotados na aquicultura e em especial, na piscicultura, consideram como fundamental a recuperação dos nutrientes já referidos, presentes na biomassa aquática, seja em algas, plantas ou peixes, pois, para viabilidade da produção, o que importa é a quantidade e qualidade do alimento disponível.

Mas, é válido lembrar que todo e qualquer processo de reúso deve estar em perfeita sintonia com os requisitos de saúde pública e com o resultado comercial, previsto para empreendimentos desta natureza, recomenda Beveridge (1996) *apud* Felizatto, (2000).

Conforme Matheus (1985), citado por Santos (2008), pesquisas têm sido conduzidas em diversas partes do mundo, no sentido de utilizar essa massa de algas, pois elas constituem importante fonte de alimento protéico, chegando a ser mais de 50% (em peso seco) a proporção de proteínas existentes nesses organismos, como é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Composição média, em termos de proteína bruta, extrato etéreo, matéria mineral e energia dos alimentos naturais dos peixes.

| Organismos | Percentual com base na matéria seca (%) | | | |
|---------------|---|---------|----------|-------------------|
| | Proteína | Gordura | Minerais | Energia (kcal/kg) |
| Algas | 30 | 6 | 34 | 3.500 |
| Rotíferos | 64 | 20 | 6 | 4.860 |
| Cladóceros | 56 | 19 | 8 | 4.800 |
| Copépodos | 52 | 9 | 7 | 5.400 |
| Chironomídeos | 59 | 5 | 6 | 5.000 |

Fonte: Adaptado de Hepher (1988) por Santos, (2008).

A piscicultura com esgotos sanitários pode ser realizada a partir de algumas variações quanto ao suprimento do efluente de esgoto tratado, tais como:

- Esgoto bruto aduzido para os tanques de piscicultura;
- Esgoto com tratamento primário, abastecendo os tanques de piscicultura;
- Esgoto com tratamento secundário, abastecendo os tanques de piscicultura;
- Piscicultura realizada na própria lagoa de estabilização.

Em qualquer das alternativas de utilização do esgoto sanitário na piscicultura, é requisito fundamental o compromisso com a sustentabilidade e com os aspectos pertinentes à relação custo benefício desses empreendimentos. Portanto, deverão ser especialmente consideradas as características básicas do esgoto objeto do processo de reúso, notadamente quanto à efetiva concentração de nutrientes, bem como o aporte da carga orgânica e os efeitos nos níveis de oxigênio dissolvido, no interior dos viveiros (tanques).

As características dos esgotos variam bastante em função do tratamento adotado. No entanto, os sistemas aeróbios são os mais indicados para o uso do efluente em piscicultura, uma vez que o oxigênio é fundamental para a sobrevivência dos animais. Também é importante o controle da concentração de amônia no ambiente destinado à criação de peixes, pois o nitrogênio apresenta-se nos esgotos de cinco formas distintas: nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, nitrito, nitrato e gás nitrogênio, sendo que na condição de amônia não ionizada (NH_3) pode ser letal para os peixes, mesmo em concentrações relativamente baixas.

Segundo Arceivala (1981) *apud* MOTA *et al* (2007), em lagoas de estabilização ocorrem cinco mecanismos principais de remoção do nitrogênio, que são: volatilização da amônia; assimilação da amônia pelas algas; assimilação dos nitrato pelas algas, processo de nitrificação – desnitrificação bacteriológica; e sedimentação do nitrogênio orgânico particulado.

Em lagoas facultativas, a eficiência de remoção de nitrogênio e fósforo é, respectivamente, da ordem de 30-50% e 30%; em lagoas de maturação em série a eficiência de remoção de amônia pode situar-se entre 70 e 80%; em lagoas de polimento e de maturação, especialmente rasas, a remoção de amônia pode ser superior a 90% e a de fósforo entre 60 e 80% (FLORENCIO *et al.*, 2006b).

Como pode ser observada, a remoção do fósforo é limitada, mas isto não chega a causar maiores transtornos, pois é desejável a preservação deste nutriente quando se utiliza o efluente de esgoto em piscicultura.

2.5.2.1. Aspectos sanitários

De acordo com Blum (2003), a primeira consideração que deve ser feita em caso de reúso de água é com a presença de microrganismos patogênicos, pois em esgotos sanitários urbanos podem ser encontrados bactérias, protozoários, helmintos e vírus. Trata-se de garantir que esses organismos não estejam presentes na água em densidades que representem um risco significativo para a saúde dos usuários. As formas de controle vão desde a aplicação de processos de tratamento eficazes até o monitoramento da qualidade da água, por meio de análises periódicas.

O monitoramento normalmente é realizado com determinados microrganismos usados como indicadores. Dentre os mais utilizados, destaca-se o grupo dos

coliformes, que tem apresentado boas respostas na maioria dos testes. No entanto, já se questiona tal eficiência, pois estes indicadores não cobrem toda variedade de microrganismos eventualmente presentes nos esgotos, como é o caso dos protozoários.

A alternativa de uso do esgoto tratado por lagoas de estabilização, aplicado na piscicultura, apresenta considerável vantagem em relação a outras possibilidades de reúso, pois este sistema possui grande eficiência na estabilização complementar da matéria orgânica, na remoção de patógenos e amônia, além de estimular o desenvolvimento do plâncton.

No aspecto relativo à condição sanitária do efluente, em se tratando de lagoas com pequena profundidade (maturação / polimento) cuja carga orgânica já está bastante reduzida, a penetração da luz solar na massa líquida é bem intensa e a atividade fotossintética é estimulada, provocando a elevação do pH. O oxigênio dissolvido e pH elevado concorrem para a volatilização da amônia, e para a intensificação da ação bactericida e viricida dos raios UV (solar), enquanto os protozoários e helmintos são removidos pelo processo de sedimentação (Von SPERLING, 2005).

O uso dos esgotos sanitários em piscicultura pode, eventualmente, propiciar a transmissão de doenças aos seres humanos por uma das formas a seguir relacionadas:

- Transmissão passiva de patógenos por ingestão ou manipulação de peixes contaminados;
- Transmissão de helmintos que têm os peixes como hospedeiros intermediários;
- Transmissão de helmintos que têm como hospedeiros intermediários outros componentes da fauna aquática.

Em geral, encontra-se bem estabelecido o entendimento de que bactérias entéricas, patogênicas ou componentes da flora intestinal de humanos e animais de sangue quente não são habitantes normais do trato de peixes, nem causam doenças a estes. Portanto, os indicadores tradicionais de contaminação, como os coliformes e estreptococos, não são usualmente encontrados no trato intestinal de peixes que vivem em água de boa qualidade (EDWARDS, 1992). Mas, deve ser considerado que as bactérias possuem a capacidade invasiva de pele, músculos e órgãos internos dos peixes, tais como: fígado, rins, trato intestinal e sangue, desde que haja

uma condição para isso, em função da concentração destes agentes em algum órgão dos animais ou no ambiente dos viveiros.

A infecção do músculo dos peixes por patógenos é maior quando os viveiros de criação estão com coliformes fecais em concentração maior do que 10^4 / 100mL; o potencial de infecção aumenta com o tempo de exposição, e mesmo em baixos níveis de contaminação pode haver concentração de patógenos no trato digestivo ou fluido peritonial do peixe (BURAS, 1993 *apud* PEREIRA, 2004).

Os limites de tolerância ao ataque de microrganismos são definidos pela capacidade de defesa natural dos peixes, pois, quando superada, as bactérias que não foram destruídas desenvolvem colônias que desencadeiam as doenças que acometem os animais. Porém, o estado fisiológico dos peixes está diretamente vinculado a sua capacidade de defesa natural, como sendo uma resposta às condições ambientais (pH, OD, temperatura, etc.) a que estão submetidos.

Quanto ao grupo dos Helmintos, Edwards (1992) entende que no caso do uso de esgotos sanitários na piscicultura, os nematóides intestinais patogênicos ao ser humano não representam riscos à saúde. A única exceção seria a possibilidade de transmissão de *Gnasthostoma spinigerum* (de ocorrência comum na Ásia), que tem os animais domésticos como hospedeiros definitivos e o zooplâncton e os peixes como hospedeiros intermediários.

Os helmintos de maior interesse no caso de uso do esgoto sanitário em piscicultura são os trematóides, particularmente *Chlonorchis sp.*, *Opisthorchis sp.*, *Paragominus sp.* e *Shistosoma sp.* Destes, apenas o *Paragominus westermani* e o *Shistosoma mansoni* apresentam importância epidemiológica na América do Sul e no Brasil (EDWARDS, 1992 *apud* BASTOS *et al.*, 2003).

Os padrões recomendados pela OMS são menos restritivos que os limites estabelecidos em países industrializados, e são resultantes de uma avaliação baseada em estudos epidemiológicos de populações expostas e dos riscos associados à saúde humana (ARAÚJO, 2000 *apud* MOTA *et al.*, 2007). Três aspectos são indicados pela WHO (1989) *apud* MOTA *et al.* 2007), como diretrizes sanitárias para o reúso de esgotos sanitários em piscicultura:

- Quantidade menor que 10^3 CF / 100 mL na água, no tanque de piscicultura;
- Valores entre 10^3 e 10^4 CF / 100 mL na água afluyente ao tanque de piscicultura;
- Ausência de ovos de helmintos (trematóides).

Outros critérios para reúso em aquicultura são apresentados nas Tabelas 6 (critério segundo a OMS, 1989), 7 (critério adaptado de Conama, 2005) e 8 (critério adaptado de Anvisa, 2001), respectivamente.

Tabela 6 - Critério de qualidade microbiológica para reúso de águas segundo a OMS / WHO (1989).

| Tipo de Processo de Reúso | Ovos ^a viáveis de Trematóides (Média Aritmética de nº de ovos viáveis/L ou Kg) | Coliformes Fecais ^b (Média Geométrica NMP/100 mL ou 100g) |
|---------------------------------|---|--|
| Cultivo de Peixes | 0 | $< 10^4$ |
| Cultivo de Macrófitas Aquáticas | 0 | $< 10^4$ |

Fonte: MOTA *et al.*, 2007.

(a).Especial atenção deve ser dada aos parasitas Clonorchis, Faciolopsis e Schistosoma, principalmente em áreas endêmicas. (b) Assume-se que haverá redução de uma unidade logarítmica de CF, restando na saída do sistema CF < 1000 NMP / 100 ml.

Tabela 7 - Critérios para águas doces recomendados pelo Conama (Resolução nº 357/2005).

| Destino | Tipo | Classe | Padrões |
|---------------------------|-------------|--------|--|
| Aqüicultura e Pesca | Águas Doces | 2 | < 1000 CT / 100 mL* |
| | | | DBO a 20° C ≤ 5mg/L |
| | | | OD > 5,0 mg / L O ₂ ** |
| | | | pH de 6,0 a 9,0 |
| | | | SDT ≤ 500 mg / L*** |
| | | | Nitrogênio Amoniacal |
| | | | 3,7 mg/L N, para pH ≤ 7,5 |
| | | | 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 |
| | | | 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 |
| | | | 0,5 mg/L N, para pH > 8,5 |
| Pesca Amadora | Águas doces | 3 | Não verificação de efeito tóxico agudo**** |
| | | | <4000 CT/100mL* |
| | | | DBO ₅ a 20°C ≤ 10 mg / L |
| | | | OD > 4,0 mg / L O ₂ ** |
| | | | pH de 6,0 a 9,0 |
| | | | SDT ≤ 500 mg / L*** |
| | | | Nitrogênio Amoniacal |
| | | | 13,3 mg/L N, para pH ≤ 7,5 |
| | | | 5,6 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 |
| | | | 2,2 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 |
| 1,0 mg/L N, para pH > 8,5 | | | |

Fonte: MOTA *et al.*, 2007. (*) CT - coliformes termotolerantes. E. coli poderá ser determinada em substituição de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

(**) Em qualquer amostra. (***) SDT – sólidos dissolvidos totais.

(****) Comprovado pela realização de ensaio Ecotoxicológicos padronizado ou outro método cientificamente reconhecido.

Tabela 8 - Critérios de qualidade para alimentos recomendados pela Anvisa (2001).

| Grupo de alimentos | Microrganismos | Tolerância para amostra Indicativa ^a |
|--|---------------------------------------|---|
| Pescado, ovas de peixes, crustáceos e moluscos cefalópodes “in natura” resfriados ou congelados não consumido cru; Moluscos bivalves “in natura”, resfriados ou congelados, não consumido cru; Carne de rãs “in natura”, refrigerada ou congelada. | Estafilococos, coagulase positiva / g | 10 ³ |
| | Salmonella sp /25 g | Ausência |

Fonte: Mota *et al.* (2007). (a) Amostra Indicativa: é a amostra composta por um número de unidades amostrais inferior ao estabelecido em plano amostral constante na legislação específica.

Após as recomendações da OMS, muitos trabalhos foram desenvolvidos, objetivando a avaliação destas orientações, cuja análise média dos resultados converge para as seguintes considerações: (1) É válido o padrão do limite bacteriológica máximo, estabelecido em 10³ CF / 100mL nos tanques de piscicultura; (2) É adequada a utilização de um indicador auxiliar, do tipo contagem de bactérias heterotróficas na água (UFC / 100mL) e no músculo dos peixes(UFC / g).

As questões relativas à segurança no uso do grupo coliforme como indicadores de qualidade sanitária apontam para eventuais restrições. É sugerido um padrão de qualidade bastante restrito para os peixes cultivados em água residuária – 50 UFC/g, bem mais restritivo que os parâmetros da legislação para peixes em geral, 10⁵ - 10⁷ UFC/g e 10¹ - 10² *E. coli* / g (MOTA *et al.*, 2007)

O PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico elaborou diretrizes para o uso de esgotos sanitários na agricultura e na piscicultura. A Tabela 9 contém as diretrizes para o uso de esgotos sanitários em piscicultura.

Tabela 9 - Diretrizes do PROSAB para uso de esgotos sanitários em piscicultura.

| Ponto de Amostragem | CTer 100 mL ⁻¹⁽¹⁾ | Ovos de helmintos L ⁻¹ | |
|------------------------------------|------------------------------|---|-------------|
| | | Nematóides intestinais humanos ⁽²⁾ | Trematóides |
| Afluente do tanque de piscicultura | $\leq 1 \times 10^4$ | ≤ 1 | ND |
| No tanque de piscicultura | $\leq 1 \times 10^3$ | ≤ 1 | ND |

Fonte: MOTA *et al*, 2007.

Obs: Para o uso de esgotos tratado em piscicultura não há padrão explícito de DBO, DQO e SST, sendo as concentrações efluentes uma consequência das técnicas de tratamento compatíveis com a qualidade microbiológica estipulada. Entretanto, recomendam-se taxas de aplicação superficial nos tanques de piscicultura da ordem de 10 – 20 kg de DBO ha.⁻¹ d⁻¹. Deve-se observar que a amônia livre é tóxica para peixes em níveis entre superiores a 2,5mg NH₃ L⁻¹.

(1) Coliformes termotolerantes; média geométrica, alternativa e preferencialmente pode-se determinar *E.coli*. (2) Média aritmética.

A infecção do músculo dos peixes por patógenos é maior quando os viveiros de criação estão com os coliformes fecais em uma concentração maior do que 10⁴/100 mL. O potencial de infecção aumenta com o tempo de exposição, e mesmo em baixos níveis de contaminação pode haver alta concentração de patógenos no trato digestivo ou fluidos peritoniais do peixe (BURAS, 1993).

2.5.2.2. Aspectos técnicos

A piscicultura com o uso de esgotos sanitários deve obedecer, em regra, aos mesmos procedimentos técnicos adotados para uma piscicultura convencional, que utiliza outras fontes de suprimento d'água. Naturalmente, o reúso de água (efluente de esgotos) para o abastecimento dos viveiros (tanques) necessita de alguns cuidados especiais, como já foi apresentado no item 2.5.2.1, deste trabalho. Assim sendo, os aspectos técnicos fundamentais, são apresentados na forma que se segue:

- **Aspectos legais e ambientais:** Como esse tipo de empreendimento utilizará recursos naturais como solo e água, a piscicultura racional está sujeita a uma legislação específica destinada à preservação dos rios e nascentes, solos e florestas, além dos vários aspectos da proteção ambiental, posto que, o uso de insumos (adubos e rações), quando for o caso, torna o cultivo de peixes numa atividade potencialmente poluidora.

- **O Sistema de produção:** A criação de peixes pode ser realizada em sistemas extensivos e intensivos com as devidas variações, que estão fundamentadas, no manejo, tipo de alimentação e produtividade planejada. O sistema do tipo extensivo é o que mais se assemelha às condições naturais, tanto no que diz respeito à alimentação dos animais quanto à produtividade esperada.
- **Infra-estrutura de produção (viveiros):** O ambiente relacionado à criação é o viveiro, portanto, suas características são fundamentais e determinantes do sucesso ou fracasso no desenvolvimento dos peixes que nele vivem. A interação do solo e da água com os eventos externos ao viveiro como: ventos, chuvas, radiação solar etc, forma um conjunto de fatores que devem ser analisados antes da construção, antes do enchimento e povoamento e, especialmente, durante o período de crescimento. O tipo de solo, o formato, a locação, o tamanho, a profundidade e a disposição são as principais características de um viveiro de produção (SERRATO *et al.*, 2001).
- **Demanda de área e de água:** A demanda de área é função da produção desejada. Em se tratando da demanda de água, admite-se que para um manejo adequado do viveiro, a quantidade de água disponível deve ser da ordem de 8 a 10 litros/segundo/ hectare e, deve ser estimada para o período mais seco do ano. Normalmente, os cultivos com sistema intensivo adotam a prática de renovação da água dos tanques em torno de, no mínimo, 10% do volume, por dia, de acordo com as condições de qualidade da água, densidade de estoque, fatores climáticos e produtividade esperada.

A qualidade da água para uma piscicultura tradicional é definida pela ausência de substâncias dissolvidas ou em suspensão, que comprometem a produção dos peixes, e pela existência de nutrientes minerais dissolvidos. Mas, quando se tem o reúso como fator preponderante na oferta de nutrientes, que estimulam a produção de biomassa, base da alimentação dos peixes nesta forma de cultivo, a qualidade da água dos viveiros requer um monitoramento mais ostensivo para evitar a excessiva eutrofização do ambiente.

- **Índices técnicos e gestão:** São determinados parâmetros de avaliação e comparativos técnicos fundamentais em qualquer cultivo. Tais indicadores são importantes desde o planejamento, até o processo de engorda e, ao final do cultivo permite uma perfeita avaliação dos custos e benefícios do empreendimento. Na sequência, são apresentados os principais índices técnicos de gestão:

1. **Densidade de estocagem:** Deve ser bem planejada, pois tanto uma baixa quanto uma excessiva densidade de estocagem leva a perda na biomassa produzida. Deve-se observar a capacidade de suporte para cada ambiente e nível tecnológico de cada cultivo.
2. **Capacidade de suporte (Cs):** É a máxima biomassa de peixes capaz de ser sustentada em uma unidade de produção (viveiros, tanques-rede, raceway, aquário, entre outros). O crescimento dos peixes (ou da população de peixes) é zero no momento em que a capacidade de suporte foi atingida. A capacidade de suporte pode ser expressa em relação a área (Kg/ha, Kg/m²) ou ao volume (Kg/m³) da unidade de produção (KUBITZA, 2000).
3. **Biomassa crítica (BC):** Em algum momento do cultivo o crescimento diário dos peixes (ou da população de peixes) atinge um valor máximo, ou seja, o máximo ganho de peso possível por peixe (g/dia) ou por unidade de área (Kg/ha/dia) ou volume (kg/m³/dia). Neste momento diz-se que a unidade de produção atingiu sua biomassa crítica. A partir do ponto de biomassa crítica o crescimento dos peixes começa a ser cada vez mais reduzido até que o sistema atinja a sua capacidade de suporte e os peixes parem de crescer (KUBITZA, 2000).
4. **Biomassa econômica (BE):** A biomassa econômica corresponde a uma biomassa entre a capacidade suporte e a biomassa crítica. Neste momento a despesca (parcial ou total) deve ser realizada. Em geral, a biomassa econômica gira em torno de 60 a 80% da capacidade de suporte (KUBITZA, 2000).

5. **Peso médio dos animais:** O Peso Médio por peixe (PMpx), é dado pela relação entre o Peso total da amostra (Pta) em (kg) e Número de peixes (Np) da amostra:

$$\text{PMpx (kg)} = \text{Pta (kg)} / \text{Np}$$

6. **Ganho de peso diário (GPD):** É determinado com o peso médio dos peixes na biometria atual, o peso médio da última biometria e o número de dias corridos entre as duas biometrias. O resultado é expresso em g/dia. Utiliza-se a fórmula abaixo: Peso Médio Atual (Pmat); Peso Médio Anterior (Pman) em gramas; N° de dias (Nd).

$$\text{Ganho de Peso Diário} = (\text{Pmat} - \text{Pman}) (\text{g}) / \text{Nd} = \text{g/dia}$$

7. **Produtividade final:** para estimar a produtividade final do cultivo os peixes deverão ser contados e pesados na operação denominada de despesca.

$$\text{Produtividade Final} = (\text{Peso total dos peixes produzidos})$$

8. **Conversão alimentar aparente (CAA):** por este índice é possível medir a eficiência de todo sistema de produção escolhido, pelo empreendimento piscícola. Este índice é obtido a partir de informações como a quantidade de ração fornecida durante o cultivo e a quantidade total do peso dos peixes produzidos no empreendimento. O valor deste índice pode ser obtido pela relação entre a quantidade de ração fornecida (RF) e peso total dos peixes produzidos (PP), ambos em (kg).

$$\text{CAA} = [\text{RF} / \text{PP}]$$

Na Tabela 10 são mostrados os parâmetros para fins de avaliação da conversão alimentar aparente, compatíveis com cultivos em viveiros escavados, com disponibilidade de alimento natural e adição de ração industrializada.

Tabela 10 - Parâmetro de avaliação da Conversão Alimentar Aparente (CAA).

| CAA: kg de ração / kg de peixe | | |
|--------------------------------|-----------|-------|
| Bom | Médio | Ruim |
| 1,0 a 1,2 | 1,2 a 1,4 | > 1,4 |

Fonte: Adaptado de SERRATO *et al.*, 2001.

2.5.2.3. A escolha da espécie para cultivo

A escolha da espécie a ser cultivada em uma piscicultura convencional deve ser baseada, principalmente, na demanda do mercado. Os consumidores indicam qual o tipo de peixe, o tamanho, a quantidade e qualidade que estão procurando e qual o preço que estão dispostos a pagar. Com estas informações, devem-se verificar quais espécies disponíveis preenchem as condições levantadas. Na sequência, a característica mais importante a ser considerada na escolha é a adaptação às condições ambientais do local da criação (MUEHLEMANN *et al.*, 2004).

De acordo com Pereira (2004), o hábito alimentar mais desejado para a espécie a ser cultivada é o que atinge os níveis mais baixos da cadeia trófica, reciclando os nutrientes mais rapidamente e transformando a energia potencial do ambiente (nutrientes) em produção de pescado. Outra importante característica da espécie a ser utilizada na prática do uso de esgoto tratado é a rusticidade da espécie, sua resistência às variações da qualidade da água.

A espécie a ser escolhida para povoar um viveiro destinado ao cultivo de peixes em um ambiente relativamente agressivo, como é o caso dos esgotos, além de possuir rusticidade e resistência, deve ter, preferencialmente, hábito alimentar que permita o aproveitamento de nutrientes disponíveis naturalmente.

Com base nestas características para escolha da espécie de peixes que melhor se adaptaria ao cultivo utilizando esgotos tratados em lagoas de estabilização, a Tilápia é a que melhor se enquadra, pois, é um peixe rústico, apresenta elevado

potencial de adaptabilidade a diversos ambientes e, segundo Peirong (1989), tem hábito alimentar onívoro, com tendência a ser herbívora, aproveitando bem tanto o fitoplâncton como o zooplâncton.

Por outro lado, Loures *et al.*(2001), referem-se as tilápias como sendo uma espécie filtradora, posto que, utilizam o mecanismo de filtração do fitoplâncton, no processo de alimentação, em determinada fase de seu desenvolvimento. A todas essas vantagens, adiciona-se a capacidade de tolerar baixos níveis de oxigênio dissolvido no ambiente de cultivo.

2.5.2.4. As tilápias

O cultivo de tilápias em cativeiro remonta à Idade Antiga. Há registros históricos de cultivo destes peixes em tanques para posterior consumo pelos egípcios dois mil anos antes de Cristo.

Depois da carpa comum, são as tilápias os peixes tropicais mais cultivados no mundo. Existem cerca de 70 espécies de tilápias, distribuídas em quatro gêneros: *Oreochromis*, *Sarotherodon*, *Tilapia* e *Danakilia*. No Brasil, a espécie mais difundida é a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Como as demais tilápias, ela tem sua origem em rios e lagos do continente africano. São excelentes peixes para o cultivo, pois apresentam carne muito saborosa, com poucas espinhas, e também são extremamente resistentes às condições adversas do meio e às enfermidades. Alimentam-se de plâncton e, em menor proporção, de detritos orgânicos e do limbo que se forma sobre as pedras e outros substratos e aceitam bem as rações balanceadas (PROENÇA; BITTENCOURT, 1994).

O fator mais limitante para o cultivo de tilápias é a sua capacidade de se reproduzir naturalmente em cativeiro quando ainda é muito pequena (peso de 50 g). No entanto, esse problema pode ser contornado pela utilização de técnicas de controle reprodutivo, como produção de animais modificados sexualmente para machos pela utilização de hormônios masculinos na fase de pós-larvas.

A Tilápia, dentre as principais espécies da piscicultura brasileira, foi a que apresentou a maior produção, no ano de 2005 (IBAMA, 2007). Esta relação está demonstrada na Tabela 11.

Tabela 11 - Produção das principais espécies da piscicultura brasileira (2005).

| Espécies de peixe | Produção (t) | Relação com a produção total (%) |
|-------------------|--------------|----------------------------------|
| Tilápia | 67.850,5 | 38,0 |
| Carpa | 42.490,5 | 23,8 |
| Tambaqui | 25.011,0 | 14,0 |
| Tambacu | 10.874,5 | 6,1 |
| Pacu | 9.044,0 | 5,1 |
| Piau | 4.066,5 | 2,3 |
| Tambatinga | 2.494,5 | 1,4 |
| Trutas | 2.351,5 | 1,3 |
| Outros | 17.058,8 | 8,0 |
| Total | 178.746,5 | 100,0 |

Fonte: Adaptado por Figueiredo Jr.; Valente Jr. (2008) de IBAMA (2007).

De acordo com Nogueira (2008) *apud* Figueiredo Jr; Valente Jr. (2009), vários motivos justificam a preferência dos produtores pela tilápia, entre os quais se destacam:

- Fácil adaptação às diversas condições de cultivo nas diferentes regiões do país;
- Ciclo de engorda relativamente curto (seis meses, em média);
- Aceitação de uma ampla variedade de alimentos;
- Resistência a doenças, altas densidades de povoamento e baixo teor de oxigênio dissolvido;
- Desova durante o ano todo;
- Possui carne saborosa e saudável, com baixo teor de gordura (0,9 g por 100 g de carne);
- Baixo nível de calorias (172 kcal por 100 g de carne);
- Não possui espinha em forma de “Y” ;
- O rendimento do filé chega a 37% em peixes com peso médio de 600 gramas.

Outro importante aspecto a ser considerado no desenvolvimento de uma piscicultura refere-se ao manejo adequado, na hora de alimentar os peixes, pois, este é um processo fundamental para que se tenha um bom desempenho do empreendimento, uma vez que a ração é o insumo de maior repercussão (mais caro) nos custos incidentes na atividade piscícola. Os especialistas estimam que este valor possa alcançar até 70% do custo total de produção da tilápia.

3.0. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Avaliação do efluente da estação de tratamento de esgoto (ETE-Leste)

A eficiência de um sistema de tratamento de esgotos, composto por lagoas de estabilização, em remover matéria orgânica e reduzir a concentração de patógenos, presentes nesse ambiente, é fundamental para as atividades de reúso, pois, a sustentabilidade do cultivo de peixes com esgoto tratado é função da qualidade do efluente final produzido, e da disponibilidade de nutrientes.

As análises de DBO, DQO, sólidos, amônia, fósforo e coliformes, necessárias ao cálculo da caracterização e eficiência das unidades de tratamento foram realizadas pelo laboratório da ETE – Leste, cuja metodologia utilizada está descrita em APHA (2005), observados também os padrões e recomendações normativos vigentes no Brasil.

3.2. Tratamentos experimentais

Foram testados três tratamentos, com seis repetições cada um, realizados no período de Dezembro/09 a Junho/10. Adotaram-se protocolos experimentais que possibilitassem a identificação das principais variáveis zootécnicas para cada tratamento ao longo do ciclo experimental.

Foram realizadas análises físicas, químicas e biológicas da água do sistema de tratamento de esgotos e acompanhamento do desempenho zootécnico dos peixes, permitindo identificar as reais potencialidades de cultivo de peixes com esta água, bem como, as possíveis influências da piscicultura na qualidade da água dos sistemas integrados. Para garantia da segurança alimentar dos consumidores dos peixes produzidos nas condições aqui referidas, foram realizadas análises microbiológicas em amostras dos peixes cultivados, e testes para avaliação do frescor, sanidade, aceitabilidade e preferência.

Para assegurar as necessárias intervenções, por ocasião do manejo dos animais, optou-se por implantar a unidade experimental em locação adjacente ao sistema de tratamento, como pode ser vista em detalhes nas Figuras 10 a 12.

3.3. Descrição da área de estudos

Os experimentos foram realizados na Estação de Tratamento de Esgotos da zona Leste de Teresina (ETE-LESTE), de propriedade da Águas e Esgotos do Piauí S.A (AGESPISA), localizada no bairro Ininga, nos limites do Campus Universitário da Universidade Federal do Piauí, zona urbana do município de Teresina, cuja cota acima do nível do mar é de 70 m, e, as coordenadas geográficas da área da Estação são: 5° 02' 50,29" de latitude Sul e 42° 48' 01,96" de longitude Oeste, às margens do Rio Poti.

A estação de tratamento de esgotos ETE-LESTE é um sistema de tratamento biológico, composto das seguintes unidades: elevatória de esgoto bruto, tratamento preliminar (gradeamento, caixa de areia e calha Parshall), tratamento secundário do tipo lagoa de estabilização.

O conjunto das lagoas forma um sistema, cuja organização está representada no esquema ilustrativo da Figura 10 e vista aérea na Figura 11.

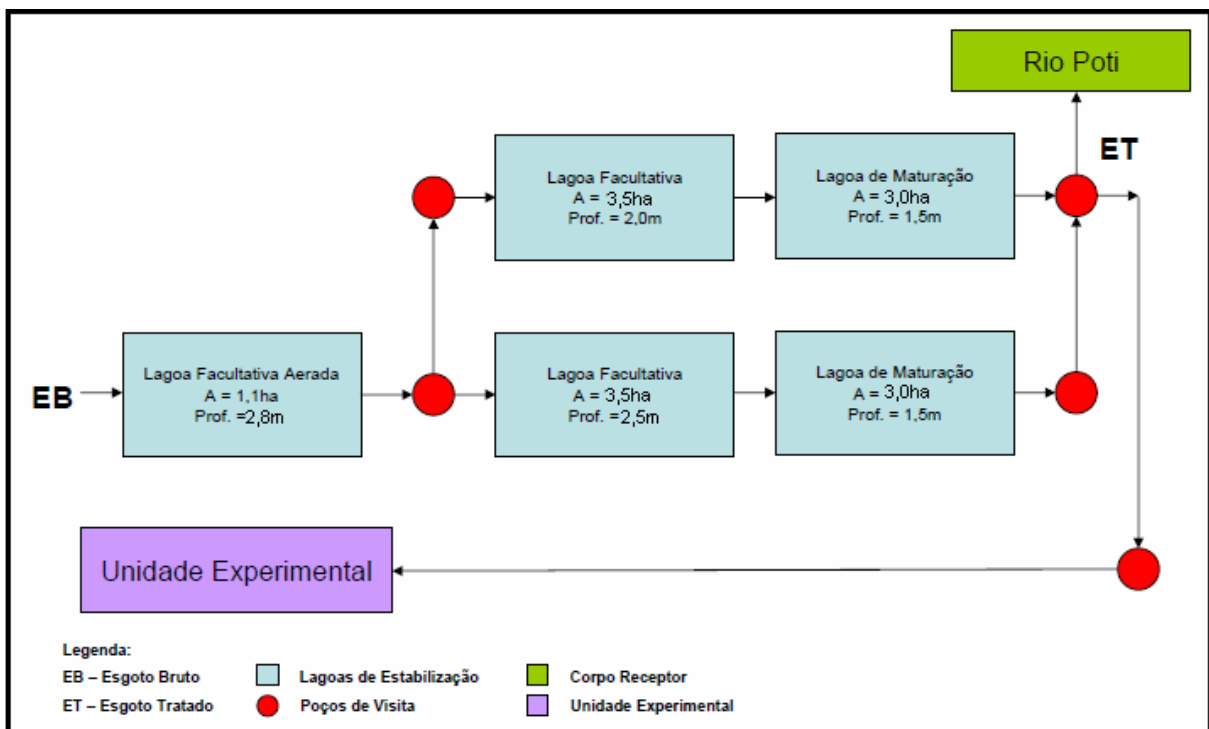


Figura 10 - Esquema ilustrativo do sistema de Lagoas de Estabilização que compõe a Estação de Tratamento de Esgoto ETE-Leste. Destaque para o sistema de entrada (EB), distribuição e destino final do efluente tratado (ET). Teresina, 2010.

A estação de tratamento de esgotos da zona leste de Teresina (ETE-Leste) processa atualmente uma vazão de 97 L s^{-1} , que corresponde a aproximadamente 50% de sua capacidade operacional e uma remoção de DBO da ordem de 86%. As Figuras 11 e 12 apresentam uma visão panorâmica das lagoas e circunvizinhanças da ETE-Leste. O corpo receptor do efluente produzido por este sistema de tratamento é o rio Poti, que é um afluente importante do rio Parnaíba, e o encontro desses dois mananciais acontece na zona urbana de Teresina. De acordo com Monteiro (2004), este corpo d'água é enquadrado como pertencente à classe 2, com base na classificação estabelecida pela Resolução nº.357 / 05 do Conama e legislação ambiental do estado do Piauí.



Figura 11 - Vista aérea ETE da Zona Leste de Teresina (A. Muller, 2004).



Figura 12 - Vista aérea ETE da Zona Leste de Teresina (Google, 2009). Destaque para Lagoa Aerada e Unidade Experimental.

3.4. A unidade experimental

Os tanques experimentais foram fabricados em fibra de vidro, conforme apresentação da Figura 13. Os tanques são retangulares, com as extremidades em semicírculos, com 2,40 m de comprimento por 1,20 m de largura e profundidade de 1,20 m, com área equivalente a 2,57 m² e volume útil de 3,80 m³. Na Figura 14 é apresentado o *layout* desta instalação que dispõe as 18 unidades no formato 6X3.



Figura 13 - Tanques utilizados no experimento.



Figura 14 - Vista geral da unidade experimental de reúso em piscicultura.

Como medida de segurança, toda área experimental foi devidamente cercada com tela metálica e estacas de concreto. Os tanques foram cobertos com uma estrutura de madeira e tela de nylon para evitar o ataque de predadores, além de atuar como sombreiro para amenizar o forte calor no local.

Foi implantado um sistema automático para suprimento de ar, composto de um compressor radial da IBRAM, com motor elétrico trifásico de 1,3 CV de potência e uma capacidade operacional de injetar até 1,7 m³/min de ar na rede de tubos PVC Ø25mm. Para distribuição individualizada de cada tanque, o controle do abastecimento era regulado por registros de manobras do tipo fecho rápido. A mistura do ar com o volume d'água dos viveiros era promovida por difusores de micro bolhas. Nas Figuras 15 e 16 são mostrados, respectivamente, o sistema de compressor e a difusão de microbolhas.



Figura 15 - Compressor radial.



Figura 16 - Difusor de micro bolhas.

O efluente final da ETE-Leste era captado por um sistema elevatório, no poço de reunião que recebe este efluente das lagoas de maturação, antes do lançamento final no rio Poti. O volume captado era bombeado através de uma adutora de PVC Ø 60 mm com uma extensão de 880 m até o ponto de abastecimento dos tanques experimentais, cujo tratamento experimental utiliza o esgoto tratado pelas lagoas. Nas Figuras 17 e 18 são mostrados aspectos do sistema elevatório de esgoto tratado.



Figura 17 - Montagem do conjunto elevatório



Figura 18 - Elevatória em operação.

3.5. Protocolos experimentais

3.5.1. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizou três tratamentos, com seis repetições cada:

- **Tratamento T-01:** utilizou-se água tratada procedente da rede de abastecimento d'água da AGESPISA (Águas e Esgotos do Piauí S.A) para abastecimento e renovação do volume d'água nos tanques experimentais. Foi fornecida ração comercial balanceada indicada para cada fase do desenvolvimento dos peixes.
- **Tratamento T-02:** utilizou-se o esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização. Não foi fornecido alimento suplementar.
- **Tratamento T-03:** repetiu-se a condição básica do tratamento T-02, com a adição de oxigênio gerado por compressor radial.

Na Figura 19 é representado o esquema operacional da Unidade Experimental de Réuso da ETE-Leste.

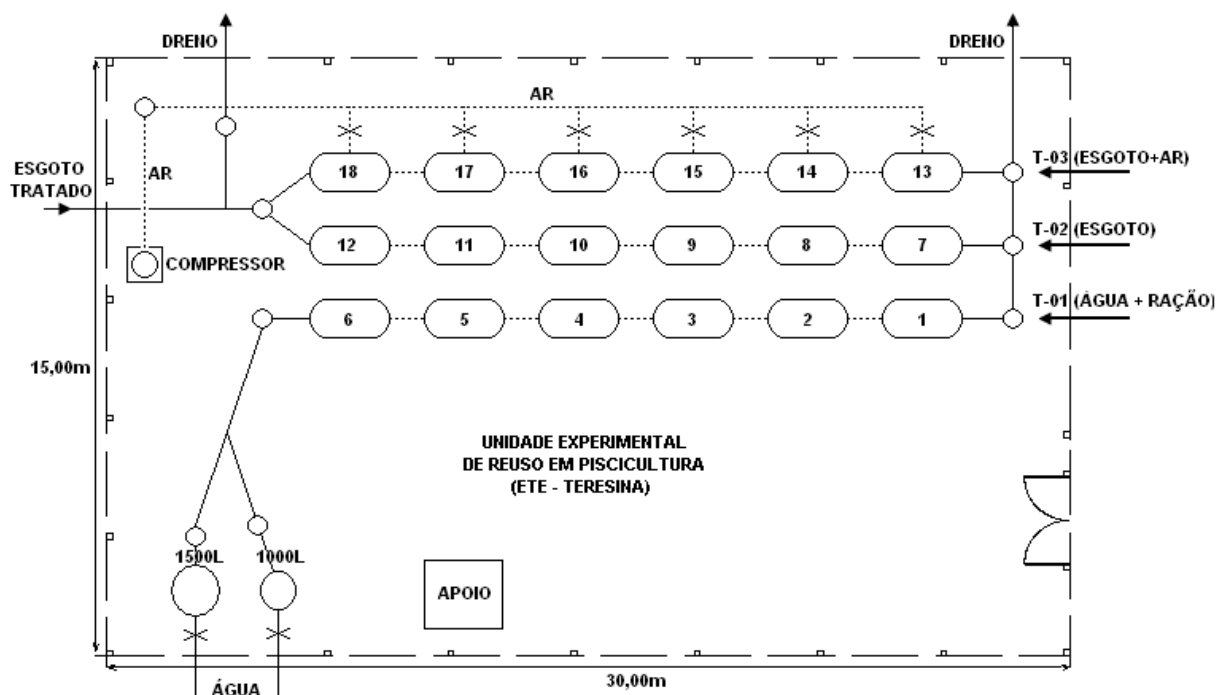


Figura 19 - Esquema da unidade experimental de reúso em piscicultura.

A água utilizada no tratamento T-01, para abastecimento e renovação do volume d'água dos tanques, só foi usada após ser armazenada por 48 horas em reservatório elevado situado na área experimental, com capacidade de 2800 litros, para neutralizar o cloro ativo existente na rede de distribuição. Nos 18 tanques experimentais foram estocados alevinos de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*), revertidos sexualmente para machos em lotes de 10 indivíduos por tanque (aproximadamente 3 alevinos/m²).

3.5.2. Acompanhamento de parâmetros ambientais e de qualidade d'água

Foram analisados os parâmetros de qualidade da água do efluente final do sistema de tratamento de esgotos da zona leste de Teresina, no Laboratório Central da Coordenação de Tratamento de Esgotos da AGESPISA e Laboratório de Saneamento da UFPI, segundo metodologia descrita em APHA (2005).

As coletas de amostras foram realizadas sempre no período matutino, entre 8:00h e 11:00h, seguindo um planejamento pré-estabelecido para o monitoramento de resultados, cujas análises obedeceram a uma periodicidade quinzenal para a maioria dos parâmetros, com exceção da temperatura, pH e oxigênio dissolvido, cuja frequência foi semanal.

O conjunto dos demais parâmetros analisados foi constituído por: alcalinidade, DQO / DBO (demanda química de oxigênio e demanda bioquímica de oxigênio – parâmetros indicadores de matéria orgânica), nitratos (N – NO₃⁻), nitritos (N – NO₂⁻), amônia (N-NH₃), condutividade elétrica, fósforo total, ortofosfato, sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos sedimentáveis, clorofila-a, transparência, coliformes termotolerantes e totais.

A temperatura, OD, N-NH₃, pH, bem como, as análises para coliformes totais e termotolerantes foram os principais parâmetros destinados ao monitoramento da atividade piscícola. Os outros parâmetros físicos químicos referem-se à avaliação da água e do esgoto tratado (lagoas de estabilização), aduzidos para unidade experimental. Na tabela 12 estão relacionados os parâmetros, métodos e equipamentos utilizados para respectivas medições.

Tabela 12 - Parâmetros físicos – químicos e biológicos e métodos e equipamentos utilizados nas análises.

| Parâmetros | Métodos | Equipamentos |
|---|--|--|
| Temperatura | Eletrométrico | pHmetro / termômetro - WTW pH 330i |
| pH | Eletrométrico | pHmetro / termômetro - WTW pH 330i |
| Oxigênio Dissolvido (mg O ₂ / L) | Eletrométrico | Oxímetro – HANNA –HI 9146 |
| Alcalinidade (mg/L) | Titulométrico Neutralização (APHA, 2005) | - |
| Sólidos (mg/L) | Gravimétrico | Muflas; Estufas e Balanças Analíticas. |
| Condutividade (µS/cm) | Eletrométrico | Multímetro / WTW – INOLAB MULTI 720 |
| Fósforo (mg/L) | Espectrofotométrico/Persulfato de Amônia | Espectrofotômetro DR 2800 HACH |
| Ortofosfato (mg/L) | Espectrofotométrico/Ácido Ascórbico | Espectrofotômetro DR 2800 HACH |
| Nitrato (mg/L) | Espectro./ Salicilato de Sódio / Rodier | Espectrofotômetro DR 2800 HACH |
| Nitrito (mg/L) | Espectro/ Sulfanilamida / Etilenodiamina | Espectrofotômetro DR 2800 HACH |
| Amônia (mg/L) | Espectro/ Nesslerização Direta | Espectrofotômetro DR 2800 HACH |
| Coliformes | Método Colilert | Seladora QalliTray / Estufa / Lâmpada UV |
| DBO | Descrito em APHA (2005) | Frascos Padrão e Incubadora de DBO |
| DQO | Refluxação Fechada do Dicromato. | Bloco Digestor CIENLAB Dry Block. |
| Clorofila-a | Método de Jones. Extração a Quente com metanol 100%; Espectrofotométrico. | Espectrofotômetro DR 2800 HACH |
| Transparência | Imersão (Contato Visual) | Disco de Secchi |

Para revitalizar de forma sistemática a oferta de nutrientes, naturalmente encontrados no efluente de esgoto doméstico tratado, foi adotado o procedimento de renovação diária em 15% do volume útil dos tanques abastecidos com esgoto. Igual processo de renovação foi realizado para os tanques cujo tratamento utilizou água da rede de abastecimento da cidade. Além da renovação diária da água, foi realizada também a operação de sifonamento semanal da camada de resíduos do fundo dos viveiros.

3.5.3. Avaliação primária da comunidade planctônica

Os organismos zooplânctônicos têm valor potencial na avaliação das condições tróficas de ambientes aquáticos, por responderem rapidamente às mudanças ambientais e refletirem as alterações súbitas na qualidade das águas (GUNTZEL; ROCHA, 1998). O zooplâncton limnético é importante para melhorar a qualidade da água, controlando o desenvolvimento do fitoplâncton através de sua alimentação seletiva. Dentro da comunidade planctônica, o zooplâncton é o principal elo na transferência de energia sistematizada e armazenada pelo fitoplâncton para os componentes de outros níveis tróficos (SILVA FILHO, 2002).

O zooplâncton foi amostrado no mês de maio de 2010 em nove tanques, do total de dezoito, que foram selecionados de maneira intercalada: três com água tratada com fornecimento de ração para os peixes; três com esgoto tratado sem aeração e três com esgoto tratado com adição de oxigênio. Para a coleta das amostras, utilizou-se rede com 45 μm de abertura de malha, 50 cm de diâmetro de boca e 1 m de comprimento. O material coletado foi fixado com solução de formol a 4% e acondicionado em frascos plásticos devidamente identificados.

As amostras foram levadas para o laboratório de Limnologia do Departamento de Biologia da UFPI, onde foram feitas determinações qualitativas das espécies de zooplâncton. Para a observação do material, utilizou-se uma lupa OLYMPUS SZ40, para as espécies de maiores dimensões, como os Cladocera e Copepoda, e um microscópio OLYMPUS BX41 para os Rotíferos. Com o auxílio de bibliografia especializada, foi feita a identificação das espécies representantes dos grupos da comunidade zooplanctônica (ELMOOR-LOUREIRO, 1997; REID, 1984). Os organismos, sempre que possível, foram identificados no nível de espécie.

As amostras para determinação das espécies de algas, e população dominante nos tanques experimentais, também foram coletadas no mesmo período e com equivalente número das amostras utilizadas para as análises de zooplâncton. As observações e determinações foram realizadas no laboratório de microbiologia da ETE-Leste da Agespisa, com um microscópio binocular com capacidade de 10X.

Para análise da concentração de clorofila-a, as amostras foram filtradas em sistemas de filtração a vácuo, e com o material retido no meio filtrante foi produzido uma solução com álcool metílico (100%) para extração dos pigmentos. Na seqüência, esta solução passou por processo de centrifugação para separação do líquido, e a biomassa algal extraída foi analisada em espectrofotômetro.

3.5.4. Avaliação da capacidade de produção de peixes com esgoto doméstico tratado em lagoa de estabilização

Utilizaram-se alevinos de tilápia do nilo (*Oreochromis niloticus*), sexualmente revertidos para machos, provenientes da Estação de Piscicultura “Ademar Braga”, de propriedade do Departamento Nacional de Obras Contra Secas (DNOCS), localizada no município de Piri-piri-PI.

O transporte para Teresina e aclimação dos peixes na Unidade Experimental da Agespisa foi feito observando todos os critérios recomendados para este tipo de operação e, o contato dos alevinos com o esgoto foi do tipo gradual, pois o ambiente dos viveiros teve a concentração gradativamente elevada.

A capacidade de suporte do ambiente em produzir peixes pode estar limitada pela quantidade e qualidade do alimento e/ou pelas limitações de qualidade da água causadas pelo aumento da biomassa dos peixes (PEREIRA, 2004). O estudo da capacidade de suporte foi baseado nas experiências de PROENÇA; BITTENCOURT (1994), PEREIRA (2004) e SANTOS (2008).

Após o período de aclimação, foi realizada a primeira biometria para caracterização da população inicial que estava sendo estocada na unidade experimental, ou seja, 60 alevinos para cada um dos três tratamentos, perfazendo 180 peixes. As biometrias repetiram-se a cada 28 dias durante o período experimental, que foi de 154 dias, oportunidade em que os dados biométricos já indicavam a proximidade do nível crítico de suporte à vida dos peixes.

Em cada biometria, os peixes foram medidos com paquímetro digital Western com capacidade máxima de 150 mm e, após superar este limite, a medição foi realizada com ictiômetro (precisão de 0,1 mm). Para pesagem dos animais foi utilizada uma balança digital da WCT com capacidade máxima de 3 kg e precisão de 0,5 g. Com os resultados neste processo avaliaram-se os principais parâmetros zootécnicos, apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Principais parâmetros zootécnicos analisados para os peixes cultivados nos tratamentos T-01, T-02, T-03.

| PARÂMETROS ZOOTÉCNICOS | UNIDADES |
|-------------------------------|-------------|
| Crescimento em comprimento | (cm) |
| Crescimento diário | (cm/dia) |
| Ganho de peso | (g) |
| Ganho de peso diário | (g/dia) |
| Produtividade | (kg/ha/dia) |
| Conversão Alimentar Aparente* | - |

*Calculada apenas para T- 01.

Utilizou-se na alimentação dos indivíduos submetidos ao tratamento T-01, água tratada com adição de ração, Fri-Acqua fabricada pela Fri-Ribe e comercializada nas lojas de produtos agropecuários. Inicialmente, até o terceiro mês de cultivo, usou-se ração para engorda de peixes com um teor de 40% proteínas, quando foi substituída pela ração com 28% de proteína até a última biometria.

3.5.5. Qualidade do pescado produzido com esgoto doméstico tratado

3.5.5.1. Análises Microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no Núcleo de Estudos, Pesquisas e Processamento de Alimentos (NUEPPA), da Universidade Federal do Piauí (UFPI), onde foram adotados os procedimentos para verificação da presença de microrganismos do tipo: Coliformes, *Salmonella* sp (presença e ausência), *Staphylococcus aureus* (UFC - Unidades formadoras de colônias), nas amostras dos peixes de cada tratamento utilizado na piscicultura experimental .

Após a última biometria (6ª), foram enviadas três amostras, cada uma com seis peixes por tratamento (T-01, T-02, T-03), abatidos por hipotermia, para o laboratório (NUEPPA), devidamente acondicionados em embalagens estéreis, identificadas e transportadas em caixa de isopor com gelo.

Para a quantificação de coliformes a 37°C e a 45°C foi utilizada a técnica da múltipla fermentação em tubos, realizando o cálculo do número mais provável (NMP) de acordo com procedimento adotado nesta técnica. Na pesquisa de *Staphylococcus* coagulase positiva, e *Salmonella* spp, foram adotados procedimentos padronizados, utilizando-se meios de cultura especiais (Ágar Baird-Parker (ABP), Caldo Rappaport-Vassilidis Soja (RVS) e Caldo Selenito de Sódio) com período de incubação específico para cada análise. Em seguida, foi feita a leitura das placas para verificação de eventuais presenças de colônias dos microorganismos analisados.

As análises para pesquisa de ovos de helmintos e cistos de *Entamoeba histolytica* foram realizadas no Laboratório de Sanidade Animal (LASAN), da UFPI. Foram colhidas amostras com o total de 1000 mL da água de abastecimento dos tanques, sendo 500 mL pela manhã e 500 mL à tarde, durante cinco dias consecutivos.

As amostras foram processadas pelo método de sedimentação simples de Hoffmann (1934) para pesquisa de ovos de trematódeos, cestódeos e cistos de *Entamoeba histolytica*, onde foram observadas cinco laminas de cada amostra. Para pesquisa de ovos de nematódeos e oocistos de protozoários foi utilizado o método de Willis. Os métodos empregados nestas análises estão descritos em De Carli (2007), e todas as observações foram realizadas em microscópio de luz com objetivas 10 e 40X.

3.5.5.2. Análise sensorial

As características sensoriais do pescado são claramente visualizadas pelos consumidores e os métodos sensoriais são, ainda, as ferramentas mais completas na avaliação do frescor do pescado, uma vez que elas dão a melhor idéia da aceitação do consumidor (CONNEL, 1995 *apud* TEIXEIRA, 2005).

Foram enviadas 02 amostras com 6 peixes de cada tratamento para o laboratório de Análise Sensorial do Curso de Nutrição da Universidade Federal do

Piauí (UFPI), onde foram realizados os Testes Sensoriais Afetivos de preferência e aceitabilidade de tilápias (*Oreochromis niloticus*), com 50 provadores adultos de ambos os sexos, não treinados.

No Teste de aceitação foi avaliado quanto (intensidade) o consumidor gosta ou desgosta do produto que lhe é oferecido. Por outro lado, o teste de preferência foi o instrumento utilizado para aferir a preferência (opção) que o consumidor tem sobre um produto em relação a outro que esteja sendo comparado.

Para examinar a aceitabilidade foi aplicado o teste escala hedônica de nove pontos (Dutcosky,1996), avaliando itens desde “gostei muito” até “desgostei muitíssimo”. O teste pareado de preferência (Ferreira, 1999) foi utilizado para verificar a preferência dos consumidores entre os tratamentos.

Foi elaborado um banco de dados no programa Epi – Info, versão 6.04 b (Dean *et al.*,1994), de modo que todas as características sensoriais de aparência, sabor, aroma e textura detectáveis no produto, pudessem ser comparadas. Os resultados foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e aplicação do teste do qui-quadrado (χ^2), com nível de significância de 5%.

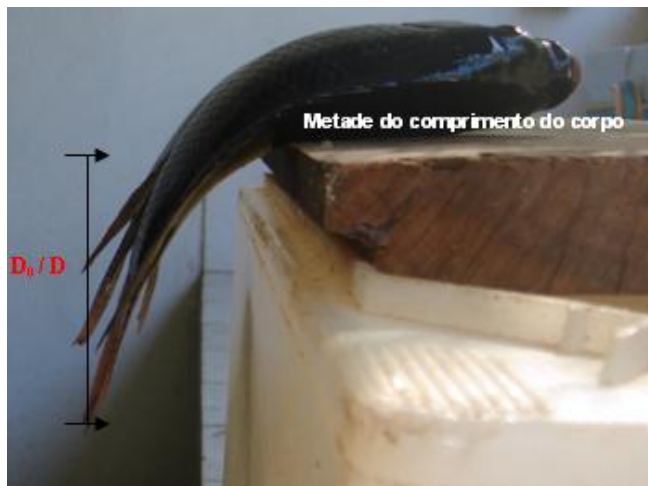
3.5.5.3. Índice do *rigor mortis* (IRM)

O frescor é um dos atributos mais importantes quando se avalia a qualidade do pescado. Para avaliar a condição do frescor do pescado produzido neste experimento, foram aplicados os testes para conhecimento do IRM (Figura 20), ou seja, o índice do *rigor mortis* dos peixes produzidos nos tratamentos pesquisados.

O *rigor mortis* é caracterizado pela perda da plasticidade e extensibilidade dos músculos como resultado da alteração dos ciclos de contração e relaxamento muscular (CONTRERAS, 1994). Este processo se inicia logo após a morte, sendo esta a transformação inicial que ocorre no peixe, seguida da ação autolítica das enzimas musculares e a ação dos microorganismos, finalizando com a total deterioração do pescado.

Nesta pesquisa, o teste para o rigor mortis teve o objetivo de verificar se a ação da carga bacteriana contida no esgoto doméstico tratado tinha influência relevante no IRM, e no pH medido na musculatura dorsal do peixe, durante os tempos de entrada, permanência e saída do estágio de rigor mortis.

Selecionaram-se seis animais de cada tratamento, que foram sacrificados usando hipotermia, pois este é um dos procedimentos de menor estresse no instante anterior ao abate, posto que o método utilizado para sacrificar o peixe pode acelerar ou atrasar o início do rigor (MACEDO-VIÉGAS; SOUSA, 2004). Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos dentro de caixa térmica com gelo triturado. Todo este material foi analisado no Laboratório de Pesquisa em Piscicultura do Centro de Ciências Agrárias (LAPESP) da UFPI. Para o cálculo do IRM, foi utilizada a fórmula proposta na metodologia descrita por Bito *et. al* (1983), e apresentada a seguir:



$$\text{IRM (\%)} = [(D_0 - D) / D_0] \times 100$$

IRM = Índice de Rigor Mortis;

D₀ = Distância inicial entre a superfície, da bancada e a base da nadadeira caudal;

D = Distância final entre a superfície, da bancada e a base da nadadeira caudal.

Figura 20 - Teste para o índice de *rigor mortis* (IRM).

3.5.5.4. Teste de genotoxicidade

Vários biomarcadores têm sido usados para a detecção de exposição à genotóxicos em poluição de águas, e os eritrócitos de peixes podem ser usados como marcadores sentinelas da exposição a compostos mutagênicos (BOMBAIL *et al.*, 2001; MITCHELMORE; CHIPMAN,1998).

A análise de micronúcleos foi realizada pelo laboratório de Citogenética do Centro de Ciências da Natureza (CCN) da UFPI, com adaptações no protocolo usado por Cavas; Konen (2007), para as análises de micronúcleos e de anormalidades nucleares, tais como cariorrexe (fragmentação nuclear) e cariólise (dissolução nuclear). Foram coletadas amostras de sangue de 15 peixes do tratamento (T-01), 27 do tratamento (T-02) e 22 do tratamento (T-03); 15 peixes foram avaliados no controle negativo (água de poço artesiano) e 15 para o controle positivo (metabissulfito de sódio).

A coleta de 1 mL do sangue dos animais para preparo das lâminas foi feita individualmente nas brânquias, com seringa descartável, e encaminhada para o laboratório de citogenética, obedecendo todos os critérios de segurança e integridade das lâminas, tanto no acondicionamento quanto no transporte deste material. As amostras de sangue periférico das brânquias foram usadas em esfregaços de duas lâminas para cada peixe e, depois de fixadas em etanol puro por 20 minutos, as lâminas foram coradas em solução de Giemsa a 10%, por 25 minutos.

Finalmente, foram avaliados 1000 eritrócitos para cada peixe em microscopia óptica, com a objetiva de 100 X, e máquina fotográfica digital Sony (7.0MB) para produção de imagens. E, para a análise estatística dos parâmetros utilizados na avaliação da mutagenicidade, utilizou-se o Dunnett's Multiple Comparison Test, e Análise de Variância (ANOVA).

3.5.5.5. Teste de bioimpedância (ângulo de fase)

A condição do peixe se refere à sua habilidade para competir com sucesso, manter as funções vitais e sobreviver no seu ambiente (Brown; Murphy, 1991). Em pesquisas, realizadas por Willis; Hobday (2008); Ducan (2008) e Cox; Heintz (2009) foi destacada a viabilidade de avaliação da condição do peixe com base na determinação do ângulo de fase, em testes de bioimpedância elétrica (BIA).

Após a execução da última biometria do ciclo experimental na piscicultura da ETE-Leste (Agespisa), foi realizado o teste de bioimpedância em amostras (20 peixes) de cada um dos tratamentos (T-01, T-02, T-03), com o propósito de determinar o ângulo de fase (ÂF). Foram inseridos eletrodos, pares de agulhas (28 x 0,9mm), fixadas em suporte de acrílico (Figuras 21 A e B), em pontos padronizados na região dorsal dos peixes (Figura 21 C) devidamente insensibilizados por indução anestésica com solução a base de eugenol conforme Vidal *et al.* (2008). Os eletrodos foram conectados ao plessímetro tetrapolar modelo BIA-101Q da RJL Systems, para leitura da resistência (R) e reatância (Xc) elétricas.

Em seguida, calculou-se o ângulo de fase (ÂF) e impedância (Z), usando-se, respectivamente, as fórmulas: $\hat{A}F = [\text{arco-tangente}(Xc/R)] \times (180^\circ/\pi)$ e $Z = (R^2 + Xc^2)^{1/2}$ apresentadas em Foster; Lukaski (1996), Lukaski *et al.*, (1985) e Barbosa Silva *et al.*, (2003). A Figura 21 (D) apresenta o plessímetro em operação para medir os parâmetros necessários ao cálculo do ângulo de fase.

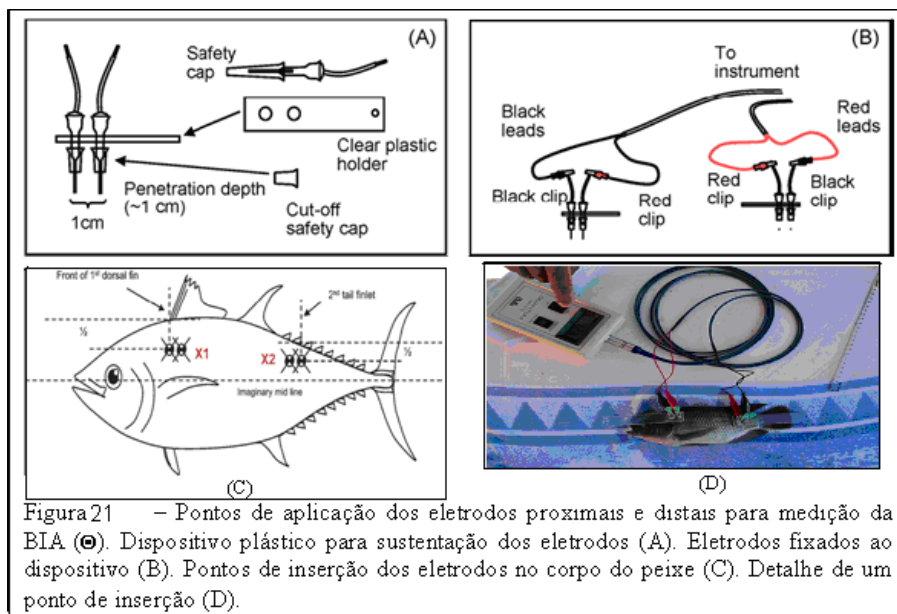


Figura 21 – Pontos de aplicação dos eletrodos proximais e distais para medição da BIA (⊙). Dispositivo plástico para sustentação dos eletrodos (A). Eletrodos fixados ao dispositivo (B). Pontos de inserção dos eletrodos no corpo do peixe (C). Detalhe de um ponto de inserção (D).

Fonte: Adaptado de Willis; Hobdy (2008).

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Avaliação do efluente da estação de tratamento de esgotos (ETE-Leste)

As análises realizadas pela Coordenação de Operação e Tratamento de Esgotos (COTES) da Agespisa, no período de Dezembro de 2009 a Julho de 2010, indicaram que o sistema de tratamento utilizado nesta pesquisa apresentava uma eficiência média de 88,7%, para o parâmetro DBO. Este resultado é condizente com os valores esperados para este tipo de sistema de tratamento de esgotos.

Por outro lado, a eficiência na redução da DQO, obtida na análise do efluente final produzido pelo conjunto das lagoas da ETE-Leste é de 70,98%. Este nível de eficiência também é compatível com os valores encontrados em análises de efluentes de esgotos tratados por sistemas similares ao da zona leste de Teresina.

Quanto à média do NMP ($2,1 \times 10^3$ coli/100mL) de coliformes termotolerantes no efluente final, tem-se uma remoção da ordem de 99,92% da concentração inicial. Entretanto, o valor médio obtido nas análises do laboratório da ETE-Leste supera o limite de NMP $< 10^3$ coli / 100 ml, estabelecido na resolução nº.357/05 do Conama, como limite desejável em um corpo receptor da classe 2, como o rio Poti (Teresina-PI).

Na Tabela 14, é mostrado o perfil médio de remoção (percentual) de DBO, DQO e coliformes termotolerantes pela estação de tratamento de esgotos (ETE-Leste), além da eficiência percentual de remoção da amônia e fósforo, que é relativamente baixa em face dos valores possíveis de serem alcançados no tratamento de esgotos com lagoas de estabilização, pois de acordo com Van Haandel; Lettinga (1994) e Soares *et al.*, (1995) *apud* Pereira (2004), é possível obter-se remoções superiores a 90%, tanto para amônia como para o fósforo, em lagoas de maturação bem rasas, cuja profundidade não exceda um metro.

Tabela 14 - Concentrações médias (mg/L) de amônia total, fósforo, ortofosfato e NMP de coliformes termotolerantes / 100 mL, no afluente do esgoto bruto e efluente de esgoto tratado pela última lagoa de estabilização, com respectivas eficiências de remoções, em percentuais.

| Parâmetros | Afluente | Efluente | Eficiência (%) |
|----------------------------|----------|----------|----------------|
| Amônia total | 23,33 | 18,33 | 21,43 |
| Fósforo total | 7,00 | 5,05 | 27,85 |
| Ortofosfato | 3,39 | 2,69 | 20,64 |
| DBO | 248,00 | 28,00 | 88,70 |
| DQO | 324,00 | 94,00 | 70,98 |
| Coliformes Termotolerantes | 2,70E+06 | 2,10E+03 | 99,92 |

Fonte: Coordenação de Tratamento de Esgotos Sanitários (AGESPISA); ETE-Leste, Teresina-PI (2010).

Embora sejam necessárias algumas intervenções de caráter operacional, a ETE-Leste pode ser classificada como sendo uma estação de tratamento de esgotos com um bom nível de funcionamento, cujo efluente também pode ser utilizado para reúso, inclusive em piscicultura. Porém, as lagoas de maturação possuem profundidades superiores a 1,5m, o que pode comprometer a eficiência do sistema na remoção de patógenos e nutrientes.

4.2. Análises dos principais parâmetros de qualidade de água nos tanques experimentais.

4.2.1. Temperatura

Foi obtida uma média bem semelhante para os três tratamentos, no valor de 29,8°C, durante o ciclo experimental de Dezembro/09 a Julho/10. Em Teresina, historicamente tem-se temperaturas mais baixas neste período do ano, entretanto em 2010 verificou-se uma rigorosa estiagem, e as temperaturas médias (ambiente) chegaram próximas de 35°C, com picos superiores a 40°C por volta do meio dia. Porém, durante a noite ocorreram quedas nestes valores, para em torno de 24°C a 26°C.

As espécies tropicais têm entre 20 e 30°C sua faixa ideal de conforto térmico para crescimento e reprodução, sendo que a maioria delas encontra um nível ótimo

entre 25 e 28°C (inclusive as Tilápias). Temperaturas inferiores a 20°C normalmente afetam o metabolismo dos peixes tropicais, acarretando diminuição do apetite e das taxas de crescimento. Quanto à temperatura letal, esta irá variar muito entre as espécies. As carpas (comuns e chinesas) resistem a uma temperatura de 5°C e as tilápias suportam até 10°C (PROENÇA; BITTENCOURT, 1994).

Alguns pesquisadores admitem que a temperatura ideal para engorda da tilápia está no intervalo de 29°C a 31°C; quando o peixe dispõe de alimento farto, o crescimento nesta faixa chega a ser três vezes maior que a 20°C (POPMA; LOVSHIN, 1996; KUBTIZA, 2000 *apud* SANTOS, 2008; AZAZA *et al.*, 2008).

4.2.2. Oxigênio dissolvido (OD)

A quantidade de oxigênio dissolvido nos corpos d'água é um indicador primário da qualidade desta água. A concentração de OD na água é o resultado da interação de diversos processos que tendem a aumentá-la ou a diminuí-la. Portanto, a contribuição atmosférica e a fotossíntese colaboram para o aumento da concentração de oxigênio na água. Por outro lado, a decomposição da matéria orgânica e a respiração realizada pelos organismos aeróbios aquático colaboram para redução de OD na água.

A grande quantidade de algas existentes nas lagoas de estabilização produz oxigênio capaz de causar supersaturação durante o dia, mas durante a noite, devido à respiração, fazem com que o oxigênio dissolvido atinja concentrações menores que 1mg/L (PEREIRA, 2000).

A concentração de OD é um fator limitante ao cultivo de peixes, pois dependendo de fatores como temperatura, salinidade e pressão atmosférica têm-se importantes variações na solubilidade do oxigênio e, conseqüentemente, nos níveis de concentração. Outro aspecto de grande relevância nas variações de concentração é atribuído à atividade do fitoplâncton, que deve ser objeto de atenção e controle na criação dos peixes.

Para temperatura variando entre 26 e 30 °C, a concentração de OD menor ou igual a 1mg/L é quase sempre letal para a maioria dos peixes tropicais; entre 1 e 3 mg/L, tem-se o nível subletal; de 3 a 5 mg/L é o nível dito suportável, e acima de

5 mg/L estabelece-se a condição ótima de sobrevivência (PROENÇA; BITTENCOURT, 2004).

De acordo com Colt (2006), nos sistemas de reúso e/ou recirculação, as concentrações de oxigênio dissolvido devem ser mantidas entre 5,0 e 6,0 mg/L, no entanto, algumas espécies toleram bem as concentrações entre 3,0 e 3,5 mg/L.

Para valores elevados de OD em níveis de supersaturação, que no entendimento de alguns pesquisadores podem chegar a 300%, este fenômeno pode causar mortalidade maciça dos animais cultivados, pela chamada “Doença das Borbulhas”. Porém, na maioria dos casos, os níveis de supersaturação de oxigênio não chegam a ser tão altos, mas provocam efeitos subletais que incidem diretamente sobre o crescimento dos animais (BOUCK, 1976; WEITKAMP; KATZ 1980 *apud* VINATEA, 1997).

Pelos resultados obtidos na pesquisa, observou-se que os valores médios de OD, nos três tratamentos, estariam na faixa de concentração definida como suportável, sendo que os tanques cujos tratamentos receberam ar injetado mecanicamente apresentaram, como era esperada, uma concentração mais elevada ao longo do cultivo, comparando-se com o tratamento que não utilizou aeração adicional. Na Tabela 15 é apresentada um resumo das médias, desvio padrão e variações máximas e mínimas para o Oxigênio Dissolvido (OD).

Tabela 15 – Valores médios, máximo e mínimo de Oxigênio Dissolvido (OD) para os tratamentos: T-01 (Água Tratada + Ração), T-02 (Esgoto Tratado) e T-03 (Esgoto Tratado Aerado). Teresina-PI (2010).

| Tratamentos | Media ± desvio padrão | Máximo | Mínimo |
|--------------------------|-----------------------|--------|--------|
| | | | |
| Água Tratada (T-01) | 4,95 ± 2,12 | 5,72 | 4,28 |
| Esgoto Tratado (T-02) | 2,40 ± 1,02 | 3,13 | 1,91 |
| Esgoto Tratado+Ar (T-03) | 3,04 ± 1,35 | 3,97 | 2,12 |

As curvas representativas das variações de OD, nos 154 dias de cultivo, para os três tratamentos, demonstram a influência favorável do ar injetado no tratamento T-03, quando comparado com as variações em T-02. A Figura 22 apresenta os gráficos de tais variações.

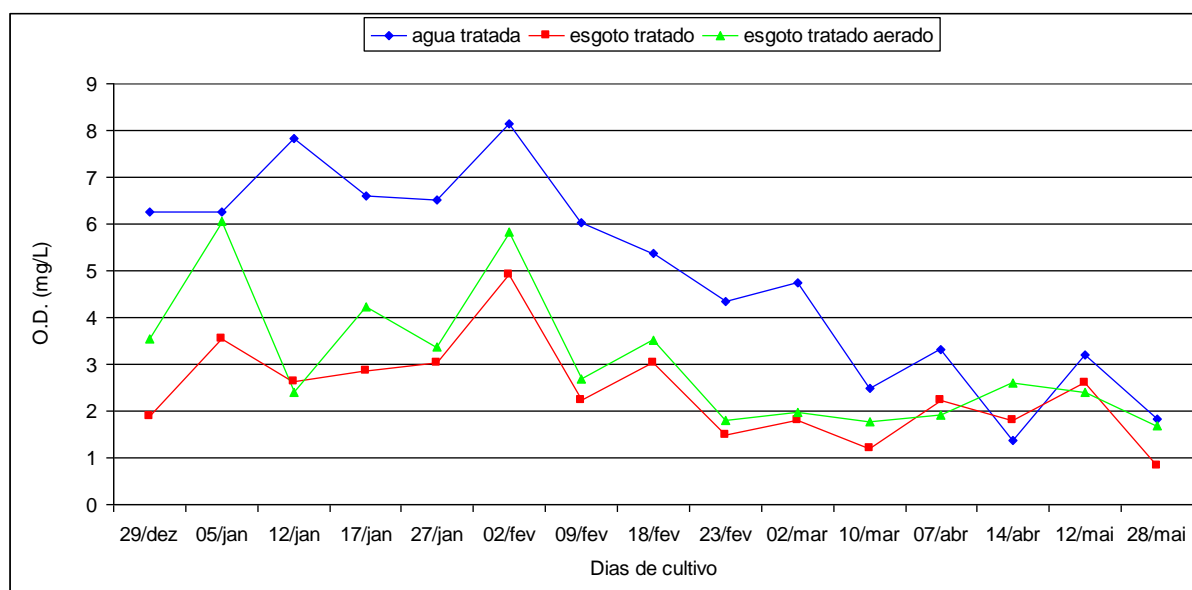


Figura 22 – Concentração do OD na água dos tanques experimentais no período de cultivo. Teresina – PI (2010).

No tratamento T-01, a despeito dos cuidados no manejo destes tanques com a oferta de ração, a produção de resíduo (orgânico) pode ter contribuído para o declínio de OD ao longo do cultivo, em face do processo de depuração no ambiente aquático.

4.2.3. pH e amônia

De acordo com Proença e Bittencourt (1994), a diminuição de uma unidade de pH, equivale ao aumento de 10 vezes na concentração de hidrogênio iônico no meio e resulta em mudanças na vida dos organismos que habitam esse meio. A faixa de pH considerada ótima para aquicultura está entre 6 e 9, sendo ideal o valor entre 7 e 8. Na aquicultura praticada em água doce, recomendam-se valores de pH variando entre 6,0 e 8,5 (ZHOU *et al.*, 2009).

Os valores de pH fora da faixa ótima podem ter efeitos tóxicos sobre os peixes ou adversos sobre a produtividade natural dos viveiros, pois o pH influencia todas as reações ou fenômenos químicos que acontecem na água e no interior das células dos seres vivos. Neste experimento, observaram-se pequenas variações no registro do pH, quase sempre muito próximo do índice de neutralidade (pH = 7).

Para os três tratamentos verificou-se um valor médio de 7,56 para o pH, com o máximo de 8,00 e um mínimo de 7,39. Em todas estas situações os valores estão dentro da faixa adequada para a prática da piscicultura.

A distribuição relativa da amônia assume a seguinte forma em função dos valores de pH: pH < 8 (praticamente toda a amônia na forma de NH_4^+); pH = 9,5 (aproximadamente 50% de NH_3 e 50% de NH_4^+); pH > 11 (praticamente toda a amônia na forma de NH_3). Assim, nota-se que, na faixa de pH próxima à neutralidade, a amônia apresenta-se praticamente na forma ionizada. A temperatura do líquido influi também nesta distribuição. (PIVELLI *et al.*, 2009)

A toxicidade da amônia também tem relação direta com a concentração de oxigênio dissolvido na água. Quanto menor for a concentração de OD maior é a toxicidade da amônia (SERAFINI; ZANIBONI-FILHO, 2009). Este fato foi demonstrado nos experimentos realizados por El-Shafai *et al.* (2004), ao aumentarem as concentrações de amônia não-ionizada, e Tran-Duy *et al.* (2008), ao reduzirem as concentrações de oxigênio dissolvido, os quais observaram redução no desempenho zootécnico das tilápias do Nilo cultivadas em ambos os experimentos.

A amônia afeta diretamente o crescimento dos animais aquáticos (COLT, 2006). As elevadas concentrações deste composto constituem um dos sérios problemas em cultivos de peixes, especialmente em sistemas de recirculação (BENLI *et al.* 2008). Na faixa de 0,4 a 2,5 mg/L, a amônia não ionizada é letal para muitas espécies; entre 0,05 e 0,4 mg/L têm-se níveis subletais e abaixo de 0,05 mg/L seria a concentração ideal (PROENÇA; BITTENCOURT, 1994).

Com relação aos valores para concentração de amônia (total), neste experimento, a média indica um baixo valor, da ordem de 1,64 mg/L para o tratamento T-01, como era esperado, pois em se tratando de água de abastecimento (sem cloro), seria pouco provável a ocorrência de amônia, notadamente no início do processo, quando ainda era baixo o volume de detritos.

Os tanques com esgoto tratado sem oxigênio adicional, T-02, apresentaram uma média de 15,97 mg/l para a amônia total, muito embora tenha sido realizado um adequado manejo, incluindo manobras de drenagem do lodo de fundo dos tanques e renovação diária do percentual programado para recarga de nutrientes. Entretanto, no tratamento T-03, com oxigênio mecanicamente injetado, observou-se uma redução na concentração de amônia nestes tanques (14,52 mg/L). Na Tabela 16 estão representados os resultados máximos, médios e mínimos para as concentrações de amônia nos três tratamentos.

Tabela 16 – Valores médio, máximo e mínimo da concentração de amônia, para os tratamentos: T-01(Água Tratada + Ração), T-02 (Esgoto Tratado) e T-03 (Esgoto Tratado Aerado). Teresina-PI (2010).

| Tratamentos | Media ± Desvio padrão (mg/L) | Máximo | Mínimo |
|------------------------------|---------------------------------|--------|--------|
| Água Tratada (T-01) | 1,64 ± 0,65 | 3,05 | 0,55 |
| Esgoto Tratado (T-02) | 15,97 ± 6,91 | 19,20 | 13,45 |
| Esgoto Tratado Aerado (T-03) | 14,52 ± 4,49 | 18,08 | 8,17 |

Os gráficos da Figura 23 demonstram o processo ascendente nos valores da concentração de amônia total nos tratamentos que utilizaram o esgoto doméstico tratado (T-02 e T-03), na medida em que o cultivo progredia e os animais se desenvolviam, apresentando características diferenciadas e variáveis na condição de equilíbrio do ambiente, se confrontados com os viveiros de T-01.

É válido salientar que a redução abrupta da concentração de amônia total, apresentada na Figura 23, deveu-se a uma proliferação massiva de *Daphnias*, que foi corrigida com o esgotamento da água de cultivo e limpeza dos tanques. Estes microcrustáceos têm o hábito alimentar preferencialmente algívoro, provocando a redução da densidade de biomassa algal na água de cultivo, e conseqüente redução na concentração de oxigênio dissolvido, podendo comprometer o desenvolvimento normal dos peixes.

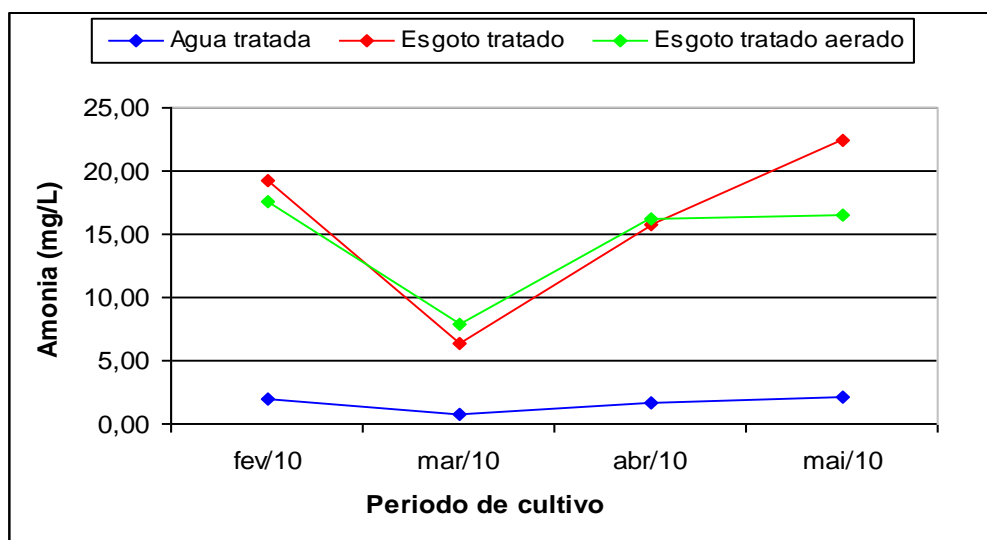


Figura 23 – Concentração de amônia, parâmetros medidos na água dos tanques experimentais, no período de cultivo. Teresina (2010).

Com base no processo de volatilização da amônia, como mecanismo de remoção de nitrogênio em esgoto tratado por lagoas de estabilização, Pivelli *et al.* (2009), para estimar o percentual de amônia livre com relação à amônia total, em função do pH e temperatura, utilizam a seguinte equação:

$$\text{NH}_3 \text{ livre/Amônia Total (\%)} = 100 / \left[1 + 10^{(0,0918 + 2729,92[T(^{\circ}\text{C}) + 273] - \text{pH})} \right]$$

Neste trabalho, obtiveram-se os valores médios do pH = 7,56 e T = 29,8°C, com os quais calculou-se o percentual de 2,10% para amônia livre em relação à amônia total. Os valores encontrados para fração de amônia livre (tóxica) nos três tratamentos estão apresentados na Tabela 17 e de acordo com Proença; Bittencourt (1994) está situado na faixa de subletalidade.

Tabela 17- Valores médios, da concentração de amônia total e amônia tóxica, para os tratamentos: T-01(Água Tratada + Ração), T-02 (Esgoto Tratado) e T-03 (Esgoto Tratado Aerado). Teresina (2010).

| Tratamentos | Amônia total (analisada) | Amônia tóxica (calculada) |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | (mg/L) | |
| Água Tratada (T-01) | 1,64 | 0,03 |
| Esgoto Tratado (T-02) | 15,97 | 0,34 |
| Esgoto Tratado Aerado (T-03) | 14,52 | 0,30 |

4.2.4. Nitrito e Nitrato

No processo de nitrificação por oxidação biológica da amônia a nitrato (NO_3^-), tem-se a formação do nitrito (NO_2^-) no estágio intermediário e, a presença do NO_2^- em determinada concentração é tóxica para os peixes, pois o nitrito dissolvido na água passa por osmose para os fluidos intersticiais e, ao combinar-se com a hemoglobina do sangue, dando origem a meta-hemoglobina, dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea e tecidos dos peixes, podendo acarretar a morte destes animais por déficit de oxigênio.

De acordo com Serrato *et al.* (2001), o nitrito já apresenta nível tóxico relevante para os animais quando se encontra em concentrações superiores a 0,5 mg/L, mas,

outros autores, como Proença e Bittencourt (1994), atribuem como limite de segurança uma concentração não superior a 0,15 mg/L.

Neste trabalho foram obtidos valores para concentração de nitrito (Figura 24) bem próximos ao limite recomendado. Quanto à presença do nitrato nos tanques experimentais, não houve o comprometimento da integridade dos peixes e tão pouco os resultados esperados no desenvolvimento dos animais, pois o nitrato é bem menos tóxico que o nitrito.

Bastos *et al.* (2003) atribuem como o limite máximo de tolerância para o nitrato, a concentração de 5,0 mg/L; acima deste valor já é possível a ocorrência de morte nos tanques. Os valores médios obtidos para nitrato neste trabalho estão perfeitamente dentro dos limites de segurança usualmente adotados (Figura 24).

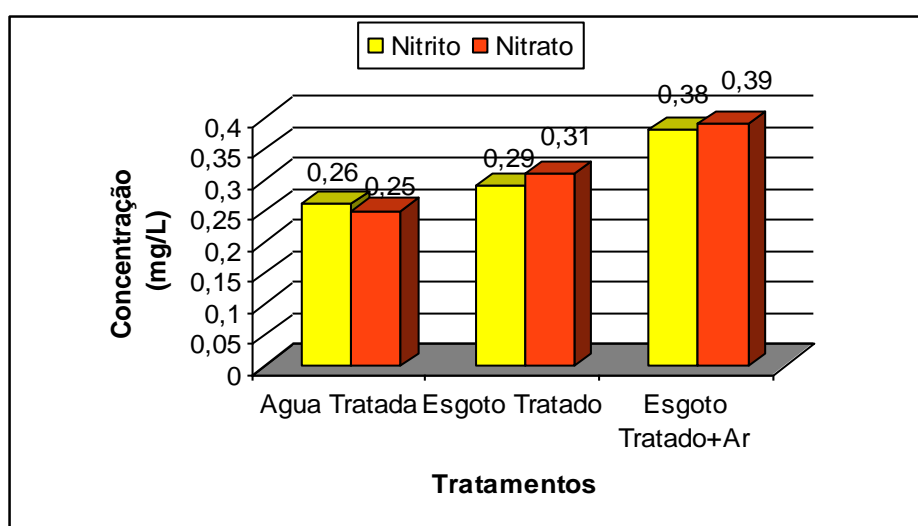


Figura 24 - Representação gráfica das concentrações médias de nitrito e nitrato, na água dos tanques experimentais. Teresina (2010).

4.2.5. Outros parâmetros ambientais

- **Alcalinidade:** a acidificação do meio influi negativamente na produção primária e no processo reprodutivo dos peixes. Os valores desejáveis de alcalinidade para o cultivo de organismos aquáticos são acima de 20mg/L (SANTOS; FRANCA, 2007). Os resultados obtidos nos tratamentos (T-02 e T-03) da unidade experimental apresentaram valores um pouco abaixo do mínimo desejável (Tabela 18).

- **Condutividade Elétrica:** Na piscicultura, os valores desejáveis de CE encontram-se na faixa de 0,02 a 0,1 mS/cm (PADILHA *et al.*, 2009). No tratamento T-01, o resultado para condutividade está em conformidade com os valores esperados em águas de abastecimento. Para os tratamentos T-02 e T-03 os valores da condutividade elétrica sugerem a existência do processo de produção primária, e pode ser considerada como indicativo da disponibilidade de nutrientes (Tabela18).
- **Fósforo e Ortofosfato:** Estes parâmetros também representam uma importante fonte de nutrientes para o fitoplâncton, que são a base da dieta dos peixes nos tanques pesquisados. O fósforo, segundo Boyd (1990), é o fator limitante nos viveiros de cultivo, sendo imediatamente incorporado à cadeia alimentar. Observa-se que estes parâmetros mantiveram-se dentro da faixa, ($0,1 < \text{mg P} / \text{L} < 9$) comumente, esperados para o tipo de ambiente utilizado no experimento (T-01, T-02 e T-03), mas, não significa que tenham grande potencial nutritivo (Tabela 18).

Tabela 18 – Valores médios de condutividade elétrica, ortofosfato, fósforo total e alcalinidade nos tratamentos T-01(Água Tratada + Ração), T-02 (Esgoto Tratado) e T-03 (Esgoto Tratado Aerado). Teresina (2010).

| Parâmetros | Tratamentos | | |
|---|------------------|-------------------|--------------------|
| | Água Tratada | Esgoto Tratado | Esgoto Tratado+AR |
| Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | 71,9 \pm 16,21 | 533,7 \pm 29,64 | 514,79 \pm 13,68 |
| Ortofosfato (mg/L) | 0,29 \pm 0,21 | 6,52 \pm 5,59 | 4,80 \pm 4,04 |
| Fósforo (mg/L) total | 0,49 \pm 0,38 | 4,69 \pm 0,45 | 3,44 \pm 0,57 |
| Alcalinidade (mg/L) | 2,1 \pm 0,13 | 14,5 \pm 6,81 | 13,5 \pm 6,53 |

- **Coliformes Termotolerantes:** As análises de coliformes totais e termotolerantes no ambiente aquático dos tanques experimentais demonstraram que o esgoto tratado pelas lagoas de maturação da ETE-Leste, e bombeado para a Unidade Experimental, está em conformidade com a orientação da Organização Mundial da Saúde (OMS,1989), que recomenda que o NMP/100ml de *Escherichia coli* deve ser $< 10^4$ indivíduos / 100mL, para afluentes de tanques de piscicultura. As análises revelaram valores abaixo do

limite estabelecido pela OMS, na adução dos tanques e na saída, onde se verificou a redução de pelo menos uma unidade logarítmica para os valores de Coliformes Termotolerantes (Tabela 19).

Tabela 19 – Médias e desvio padrão das concentrações de coliformes medidos para os Tratamentos: T-02 e T-03. Teresina (2010).

| Parâmetros | Esgoto Tratado (T-02) | | | Esgoto Tratado + Ar (T-03) | | |
|---------------------------------------|-----------------------|---------|---------|----------------------------|---------|---------|
| | Média ± DP | Máximo | Mínimo | Média ± DP | Máximo | Mínimo |
| Coliformes Totais (NMP/100L) | 1,3E+03 ± 9,9E+02 | 2,4E+03 | 5,1E+02 | 1,7E+03± 9,0E+02 | 2,4E+03 | 4,1E+02 |
| Coliformes Termotolerantes (NMP/100L) | 8,7E+02 ±1,1E+03 | 2,1E+03 | 1,0E+02 | 6,5E+02± 9,2E+02 | 2,2E+03 | 1,0E+02 |

As médias das concentrações de Coliformes Totais (CTo) e Coliformes Termotolerantes (CTe), em NMP/ 100mL, afluentes à Unidade Experimental são respectivamente : (CTo) 2,60E+03; (CTe) 1,32E+03. O tratamento (T-01), com água tratada revelou valores pouco representativo para concentrações de coliformes totais (CTo) e termotolerantes (CTe).

- **Clorofila-a e Transparência:** A fertilização do ambiente aquático pode ser identificada pelos níveis de clorofila-a, uma vez que ela define a medida da produtividade primária e do estado trófico do ambiente, que pode ser confirmada pela medida da transparência do meio, obtida com o uso do disco de Secchi. Foi constatado que os valores médios de clorofila-a e transparência para os tratamentos T-02 e T-03 foram, respectivamente, de 632,80 µg/L e 469,80 µg/L, para clorofila-a; 20cm e 30 cm para os níveis de transparência. Estes valores estão compatíveis com os resultados médios de 510 µg/L e 381 µg/L para concentrações de clorofila-a, obtidas no cultivo de peixes em esgoto sanitário tratado, em tanques com e sem aeração, relatado por (SANTOS; FRANCA, 2007).

Isto significa que o ambiente estava bem fertilizado e com o processo eutrofizante em desenvolvimento, exigindo intervenção no manejo com a retirada do excesso de biomassa algal, para equilibrar este fenômeno que poderia comprometer o rendimento do cultivo. Também foi registrado que o tratamento T-01, com água tratada e ração, apresentou um ambiente inicialmente fertilizado. Entretanto, este problema foi resolvido com o ajuste na quantidade de ração ofertada aos peixes neste tratamento, além da rigorosa limpeza do fundo dos tanques, por sifonamento e drenagem.

- **DBO e DQO:** No tratamento T-01, verificaram-se os menores valores para os níveis médios ($7,50 \pm 2,79$), máximo (9,90), e mínimo (5,10) de DBO. E, para DQO os valores médios ($55,60 \pm 30,71$), máximo (77,83) e mínimo (36,41) para o mesmo tratamento (T-01), foram, também, os menores revelados pelas análises, pois os materiais degradáveis nestes tanques estão em quantidade significativamente menor do que a concentração verificada nos tanques em que se usou o esgoto tratado para abastecê-los. Na Figura 25 estão apresentados os valores de DBO e DQO no tratamento T-01 durante o cultivo.

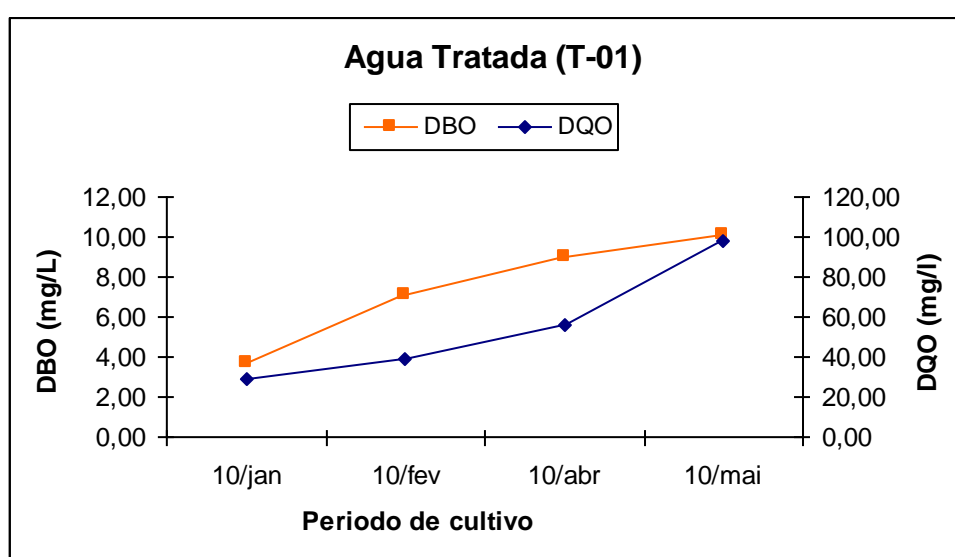


Figura 25 - Representação gráfica das médias de DBO e DQO, na água dos tanques experimentais do T- 01. Teresina-PI, (2010).

Para os tratamentos T-02 e T-03 os resultados de DBO e DQO podem ser considerados semelhantes, mas, foi observado que ao longo do ciclo experimental os valores obtidos no tratamento T-03 eram sempre menores que no T-02 (Figuras 26 e 27).

A adição de oxigênio mecanicamente injetado, nos tanques do T-03, provavelmente favoreceu o declínio de tais demandas, embora o aporte de oxigênio nestas condições também estimule o aumento da produção primária nesse ambiente. No tratamento T-03, tem-se uma redução da DQO de 22,3%, quando comparada com os valores verificados no tratamento T-02, onde não houve auxílio do suprimento de ar pelo sistema de compressor radial.

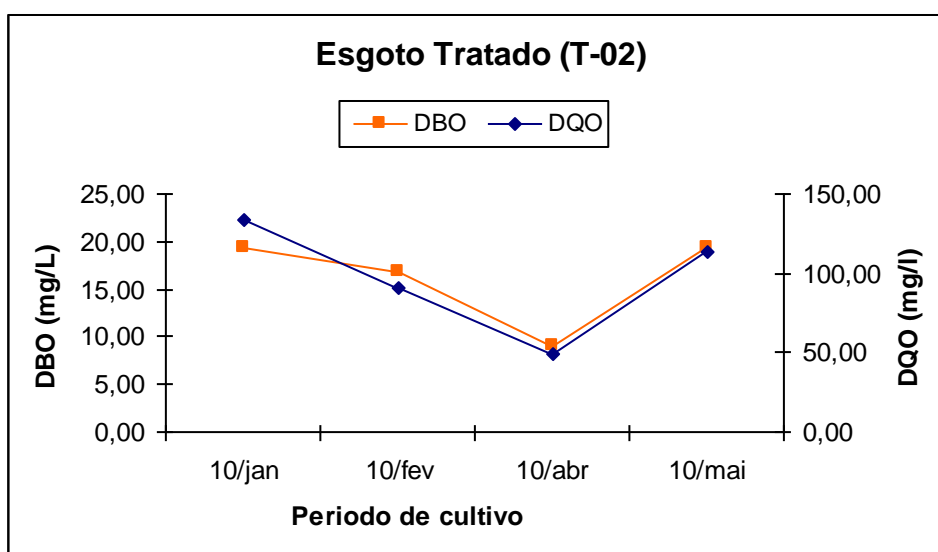


Figura 26 - Representação gráfica das médias de DBO e DQO, na água dos tanques experimentais do T- 02. Teresina-PI, (2010).

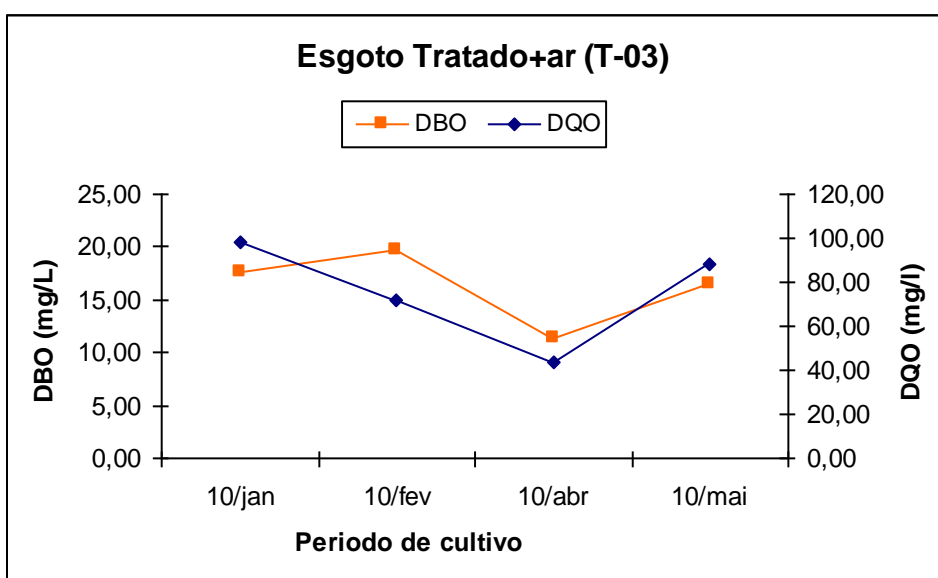


Figura 27 - Representação gráfica das médias de DBO e DQO, na água dos tanques experimentais do T- 03. Teresina-PI, (2010).

Avaliando os valores iniciais da DBO e DQO, verificou-se que, em termos médios, estes parâmetros sofreram discreta redução nos níveis das concentrações ao longo do cultivo. O aumento da demanda por biomassa algal (matéria orgânica), base da dieta dos peixes, influenciou na redução dos sólidos em suspensão, com provável efeito no decréscimo na Demanda Bioquímica de Oxigênio, uma vez que o adicional de excretas foi amortizado pelo manejo sistemático dos tanques de cultivo (sifonamento/limpeza).

Por outro lado, tal como já foi anteriormente relatado, a respeito da variação nas concentrações de amônia no decorrer do cultivo (pág.79), é válido destacar que, o manejo de esgotamento da água dos tanques reduziu fortemente as concentrações de DBO e DQO nos tratamentos T-02 e T-03 no mesmo período.

- **Sólidos:** No sistema de tratamento de esgotos usando lagoas de estabilização, as algas representam de 60% a 90% dos sólidos em suspensão, podendo alcançar concentrações de 60 a 200 mg/L de sólidos em suspensão secos (biomassa de fitoplâncton/L) ou 10^4 a 10^6 organismos por mL (ARCEIVALA,1981 *apud* Von SPERLING, 2002).

Neste trabalho verificou-se que o aporte de sólidos em suspensão, proveniente da última lagoa de maturação da ETE-Leste, e aduzido para a unidade experimental, apresentou valores variando de 74 a 96 mg/L. De acordo com Proença e Bittencourt (1994), as espécies tropicais suportam teores de sólidos suspensos de até 10 g/L. As médias dos sólidos em suspensão verificadas nos tratamentos foram: T-01(28 mg/L); T-02 (94,9 mg/L); T-03 (84 mg/L).

Em T-02 e T-03, houve diminuição dos valores iniciais, possivelmente pelo aumento da biomassa dos peixes, e o conseqüente aumento de consumo de sólidos, e no tratamento T-01 o valor de sólidos refere-se à soma das excretas e sobras de ração que foi reduzida com limpeza e ajuste na quantidade de ração servida neste tratamento.

4.3. Avaliação primária da comunidade planctônica

A comunidade zooplanctônica nas amostras estudadas esteve representada pelos filos Rotifera e Arthropoda, destacando-se os rotíferos, com 20 espécies distribuídas em 10 gêneros, dentre estes o gênero *Brachionus* foi o mais significativo, com cinco espécies, sendo o *Brachionus calyciflorus* a espécie mais abundante, seguido do gênero *Lecane*, representado por *Lecane bula*, *L. luna* e *Lecane* sp; *Hexarthra*, com *Hexarthra intermedia* e *Hexarthra* sp; *Asplanchna*, com *Asplanchna* sp.

Os crustáceos foram representados pelos Cladocera e Copepoda, destacando-se os copépodos em estágio naupliar em grande quantidade, representado pelo adulto *Thermocyclops decipiens*. Os Cladocera ocorrentes foram: *Diaphanosoma spinulosum*, *Moina minuta*, *Ceriodaphnia cornuta*. Nas amostras estudadas, a comunidade zooplanctônica encontrada apresentou uma grande predominância de nauplius de Copepoda, especialmente nas amostras dos tanques com esgoto tratado.

Entretanto, na comunidade zooplanctônica, em quase todos os tanques amostrados, os Rotifera foram os mais abundantes e com maior riqueza de espécies. Na literatura, verifica-se que em ambientes eutróficos a comunidade zooplanctônica é normalmente dominada pelo microzooplâncton (Rotifera e Protozoa), apesar de os Cladocera e Copepoda Cyclopoida serem importantes (BAYS; CRISMAN, 1983; MATSUMURA-TUNDISI *et al.*, 1990).

De acordo com Watkins; Cabelli (1985), grandes concentrações de nutrientes em ambientes aquáticos com efluentes domésticos resultam em uma maior bioestimulação de fitoplâncton que, de forma indireta, aumenta a população zooplanctônica. Isso pode explicar a correlação positiva entre densidade de organismos e concentração de nutrientes verificada no período amostral. Na Figura 28, são apresentados exemplares de Rotífera (A) e Arthropoda (B).

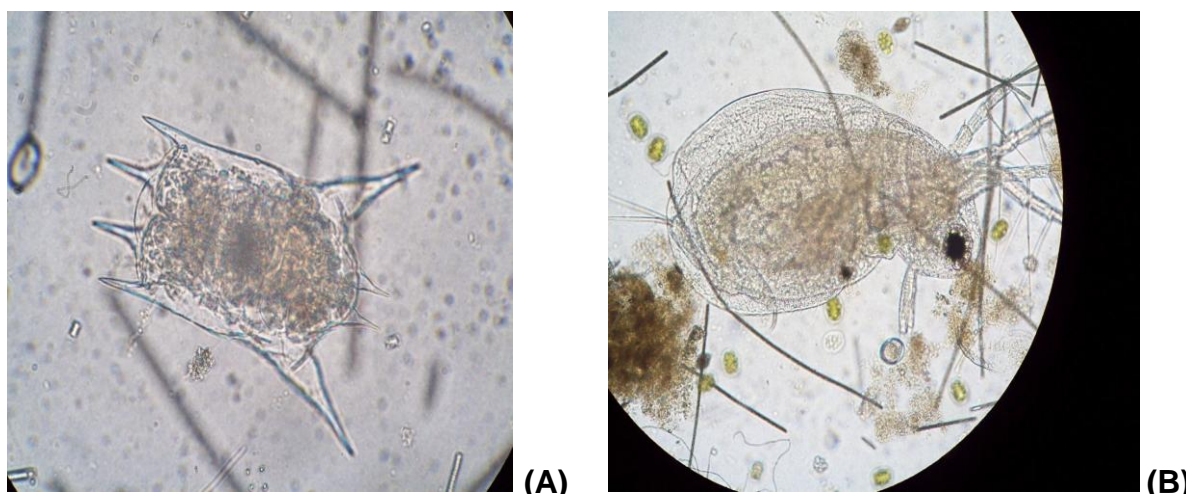


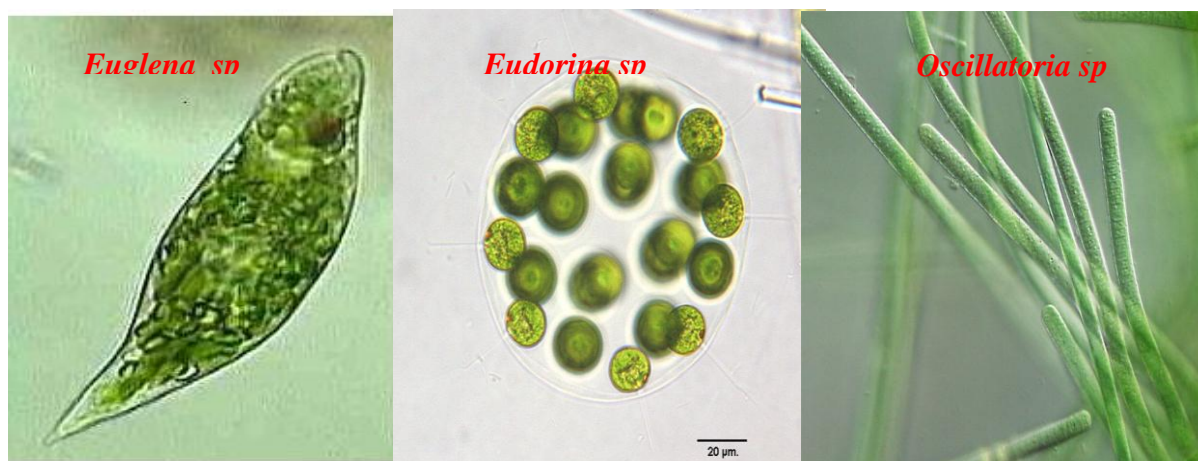
Figura 28 - Fotomicrofotografia de (A) Rotifera (*Brachionus calyciflorus*) e (B) Arthropoda (*Moina* sp) observados nos tanques de cultivo de peixes com esgotos tratados (Laboratório de Limnologia do Dptº.de Biologia da UFPI).Teresina-PI (2010).

Quanto à comunidade fitoplanctônica, nas amostras estudadas foi determinada a presença de várias espécies de Algas, distribuídas em 03 gêneros, com especial

destaque para os gêneros: *Chlorophyta*, *Euglenophyta*, *Cianobactérias*, cujas espécies mais abundantes estão representadas pelas: *Eudorinas*, *Euglenas* e *Oscillatorias*, respectivamente.

Dentre as demais espécies que ocorrem em menor intensidade nos tanques de cultivo de tilápias com esgoto doméstico, citam-se: *Meridions* (*Diatomáceas*), e *Phytoconis*. Entretanto, foi observado que o gênero *Chlorophyta*, predominava nos tanques do tratamento T-01, com destaque para as espécies *Micrasterias* e *Kirchneriellas*, enquanto que nos tanques do tratamento T-02 e T-03, foram identificadas com maior frequência as espécies *Oscillatorias* e *Euglenas* respectivamente, cuja presença é uma característica dos ambientes aquáticos em processo de eutrofização.

Em que pese a grande predação dos rotíferos, as condições ambientais de temperatura e o pH (tanques) foram bastante favoráveis ao aumento significativo da população de microalgas que foi a base da dieta dos peixes (filtradores), cultivado em esgoto doméstico. Na Figura 29 são apresentadas imagens ilustrativas das espécies mais comuns de algas que ocorreram neste experimento.



Fonte: www.scienceblogs.com; www.lifesciences.napier.ac.uk; www.upload.wikimedia.org (2010).

Figura 29 - Algas (*Euglena sp*, *Eudorina sp* e *Oscillatoria sp*) mais comuns nos tanques de cultivo de peixes com esgotos tratados.

4.4. Análise da capacidade produtiva dos peixes

Na Tabela 20 estão apresentados os valores médios, resultantes das biometrias realizadas nos tratamentos experimentais. Com estes resultados foi elaborado o gráfico comparativo do crescimento em comprimento total (Lt), apresentado na Figura 30.

Tabela 20 – Valores médios dos comprimentos totais (Lt) dos peixes cultivados nos tratamentos experimentais. Teresina-PI (2010).

| Dias de Cultivo | Água tratada (T-01) | Esgoto tratado (T-02) | Esgoto tratado aerado (T-03) |
|-----------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|
| | Lt (cm) | | |
| 1 | 4,33±0,35 | 4,34±0,29 | 5,26±0,33 |
| 35 | 9,02±0,97 | 9,02±0,97 | 11,10±0,83 |
| 70 | 14,30±1,33 | 12,68±1,03 | 15,05±0,96 |
| 98 | 18,89±1,39 | 13,16±1,05 | 15,87±1,40 |
| 126 | 21,74±1,44 | 16,17±1,09 | 18,28±1,33 |
| 154 | 24,50±1,36 | 18,50±1,40 | 20,00±1,31 |

Observando-se os valores relativos ao 154^o dia do cultivo, quando foi encerrado o experimento, e realizada a despesca, foi constatado que o tratamento T-01(água tratada+ração) apresentou o melhor desempenho, provavelmente em função das melhores condições de alimentação e do próprio ambiente aquático.

Entre os dois tratamentos cujos ambientes dos tanques foram abastecidos com esgoto doméstico tratado, registrou-se uma sensível diferença dos valores, sendo favoráveis ao tratamento T-03, onde a suplementação de air lift provavelmente contribuiu para esta diferença, na medida em que os animais necessitaram de menos energia para viabilizar os processos respiratórios, e, agregaram este superávit energético ao seu próprio desenvolvimento.

Vale salientar também, que até a terceira biometria (setenta dias), o maior crescimento durante este período do cultivo foi observado no tratamento T-03, seguido de perto pelo T-02 e T-01 que após este período ultrapassou os outros tratamentos. Este fato sugere que na fase mais jovem dos alevinos, pela condição natural fitoplancctófoga filtradora, e com auxílio do air lift, os peixes aproveitaram a biomassa algal com eficiência e, caso houvesse o aporte de percentual complementar de ração industrializada, poderiam reverter essa diferença. Os valores de crescimento dos peixes estão apresentados na Figura 30.

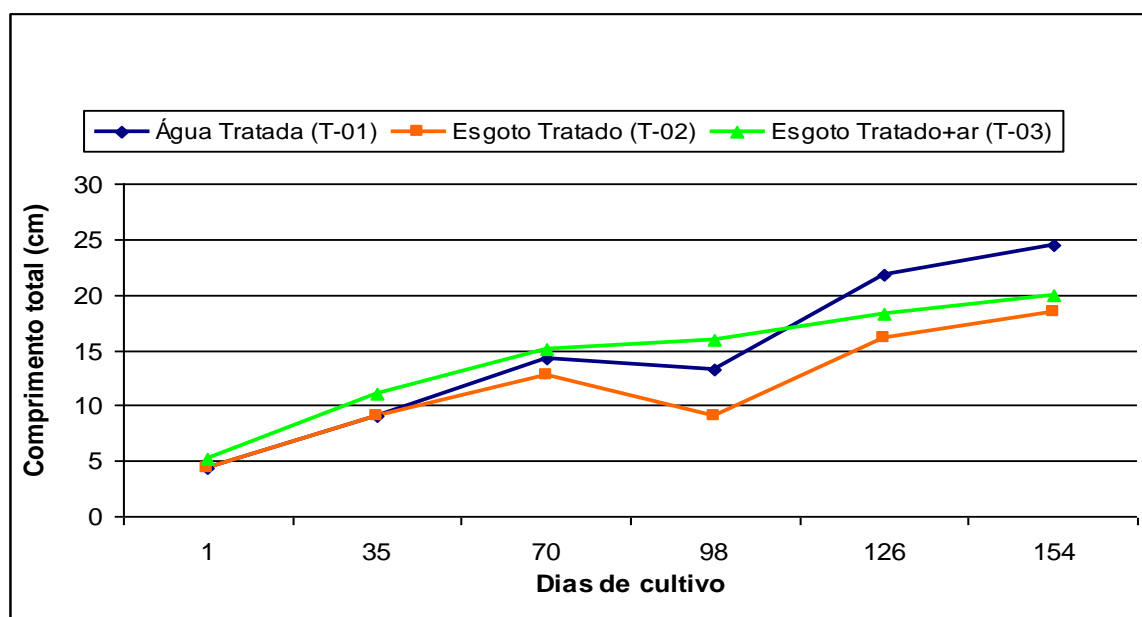


Figura 30 - Gráfico comparativo do crescimento dos peixes, em comprimento total médio (Lt) nos tanques experimentais, para os tratamentos: T-01(água tratada+ração), T-02(esgoto tratado) e T-03 (esgoto tratado+ar). Teresina-PI (2010).

Na Tabela 21, são mostrados os valores médios do peso (W) dos indivíduos, correspondentes aos tratamentos experimentais T-01(água tratada+ração), T-02 (esgoto tratado) e T-03 (esgoto tratado+ar).

Tabela 21 – Valores médios dos pesos totais (W) dos peixes cultivados nos tratamentos experimentais. Teresina-PI (2010).

| Dias de cultivo | Água tratada (T01) | Esgoto tratado (T-02) | Esgoto tratado aerado (T- 03) |
|-----------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------|
| | W (g) | | |
| 1 | 1,12±0,16 | 1,15±0,11 | 2,11±0,26 |
| 35 | 13,82±2,65 | 12,59±2,90 | 25,36±2,75 |
| 70 | 52,16±6,21 | 32,67±6,22 | 57,19±9,17 |
| 98 | 145,61±11,38 | 38,53±4,59 | 70,20±13,12 |
| 126 | 221,73±26,61 | 74,31±8,45 | 110,04±19,98 |
| 154 | 319,57±32,89 | 104,70±24,05 | 137,57±20,45 |

A exemplo dos resultados obtidos para os comprimentos médios totais dos peixes, os valores médios de peso dos animais repetem a mesma seqüência de desempenho, confirmando o melhor resultado para o tratamento T-01 e o pior para o tratamento T-02, ficando o tratamento T-03 na posição intermediária quanto ao desempenho no quesito ganho de peso, durante o cultivo. A Figura 31 apresenta o desenvolvimento comparativo quanto ao peso dos animais.

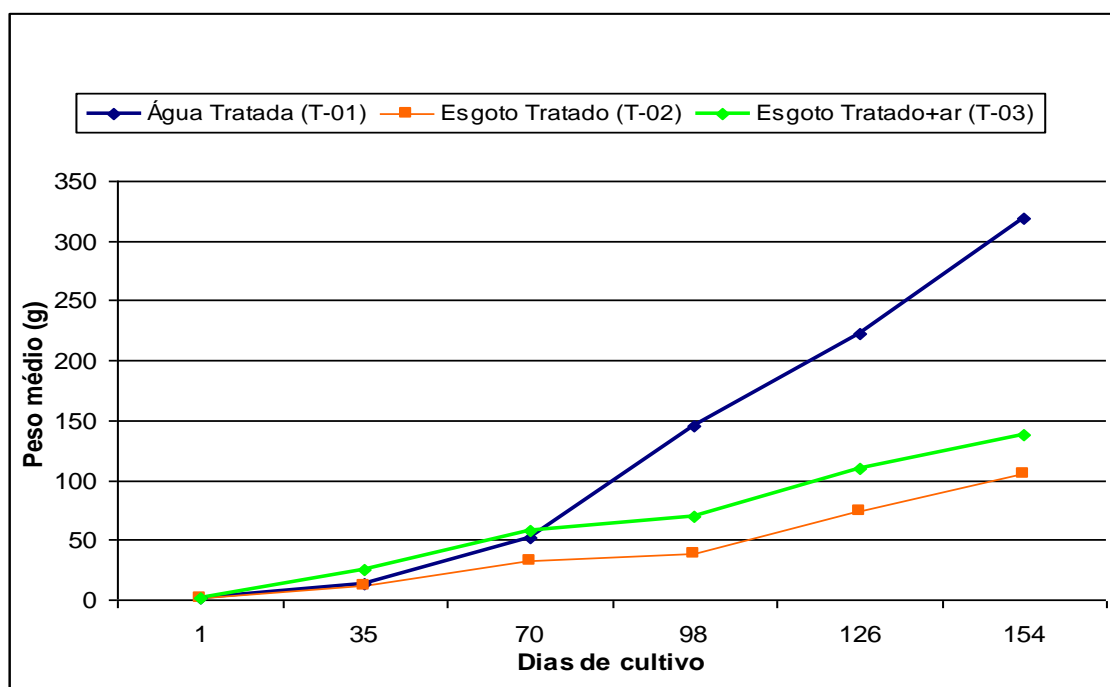


Figura 31 - Gráfico comparativo do ganho médio de pesos (W) dos peixes, nos tanques experimentais, para os tratamentos: T-01(água tratada+ração), T-02 (esgoto tratado) e T-03 (esgoto tratado+ar). Teresina-PI (2010).

4.4.1. Parâmetros zootécnicos

Para se ter uma avaliação mais adequada da capacidade produtiva da piscicultura com o uso de esgotos tratados, é necessário o acompanhamento de alguns parâmetros zootécnicos, tais como, o comprimento (cm) e o peso (g) dos animais, além dos parâmetros relacionados com a produtividade (kg/ha/dia) e com a conversão alimentar, no caso dos tratamentos que normalmente utilizam ração industrializada.

As análises estatísticas dos parâmetros zootécnicos avaliados foram realizadas com o *software BioEstat 4.0*, utilizando a Análise de Variância – ANOVA, e o teste de Tukey para significância de 5,0 % ($p \leq 0,05$). Foram feitos os testes de *Lilliefors* e *Shapiro-Wilk* para a verificação da normalidade, e, quando necessário, a transformação linear dos dados para cumprimento da homocedasticidade, condição exigida para tal. Para a análise estatística do crescimento diário, o qual apresentou dados não paramétricos, foi aplicado teste de *Kruskal-Wallis*, e para a comparação entre médias o teste de *Dunn*.

Na Tabela 22, estão demonstrados os dados referentes aos parâmetros zootécnicos analisados durante os 154 dias de cultivo. Os resultados que contêm a mesma letra entre os tratamentos experimentais não apresentaram diferença estatisticamente significativa para o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

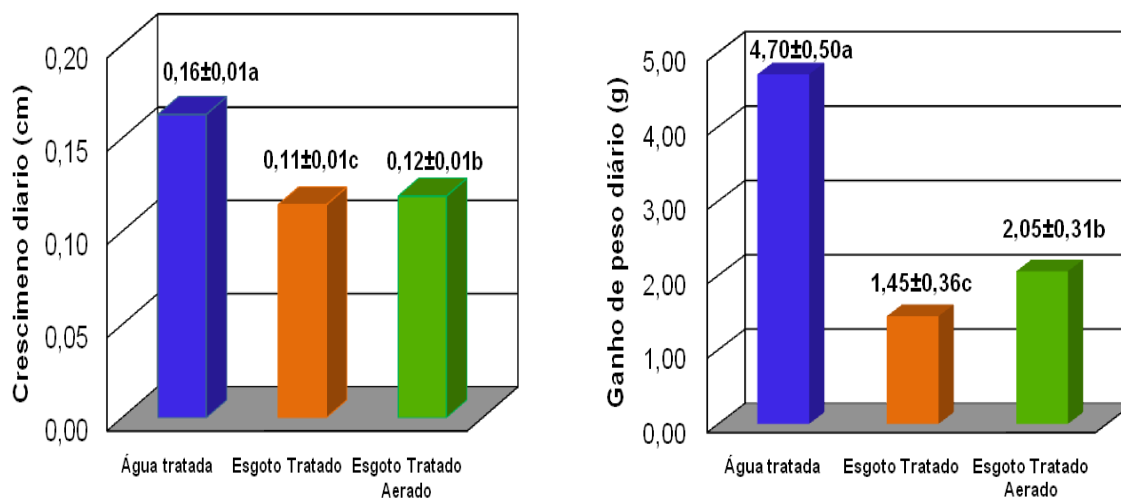
Tabela 22 – Valores médios, dos parâmetros zootécnicos analisados nos peixes dos três tratamentos experimentais com tilápias. Teresina-PI (2010).

| Parâmetro Zootécnico | Tratamentos Experimentais | | |
|------------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------------|
| | Água Tratada (T-01) | Esgoto Tratado (T-02) | Esgoto Tratado Aerado (T-03) |
| Comprimento Inicial (cm) | 4,33±0,35b | 4,34±0,29b | 5,26±0,33a |
| Comprimento Final (cm) | 24,50±1,36a | 18,50±1,40c | 20,00±1,31b |
| Ganho do Crescimento (cm) | 20,17±1,36a | 14,16±1,40c | 14,74±1,31b |
| Crescimento diário (cm/dia) | 0,16±0,01a | 0,11±0,01c | 0,12±0,01b |
| Peso Inicial (g) | 1,12±0,16b | 1,15±0,11b | 2,11±0,26a |
| Peso Final (g) | 319,57±32,89a | 104,70±24,05b | 137,57±20,45b |
| Ganho de Peso (g) | 310,25±32,89a | 95,56±24,05c | 135,46±20,32b |
| Ganho de Peso Diário (g/dia) | 4,70±0,50a | 1,45±0,36c | 2,05±0,31b |
| Produtividade (kg/ha.dia) | 118,14±12,52a | 34,90±8,78c | 48,61±7,29b |
| Sobrevivência (%) | 95,5% | 91,6% | 90% |

Na Figura 32(A), estão os dados referentes ao crescimento diário, em comprimento (cm/dia), observando-se que o melhor resultado foi apresentado pelo tratamento T-01 (água tratada+ração), com $0,16 \pm 0,02$ cm/dia, seguido pelo tratamento T-03 (esgoto tratado+ar), com $0,12 \pm 0,01$ cm/dia, e pelo tratamento T-02 (esgoto tratado), com $0,11 \pm 0,01$ cm/dia. É válido salientar que houve diferença estatística entre os resultados obtidos nos três tratamentos, estando representado pelas letras diferentes.

A Figura 32(B), relacionada ao ganho de peso diário, confirma o melhor desempenho do tratamento (T-01), com $4,70 \pm 0,50$ g/dia, seguido do tratamento (T-03), com $2,05 \pm 0,31$ g/dia, e pelo tratamento (T-02), com $1,45 \pm 0,36$ g/dia. Para este parâmetro se repete o padrão dos resultados estatisticamente diferentes relatados anteriormente para o crescimento (cm/dia).

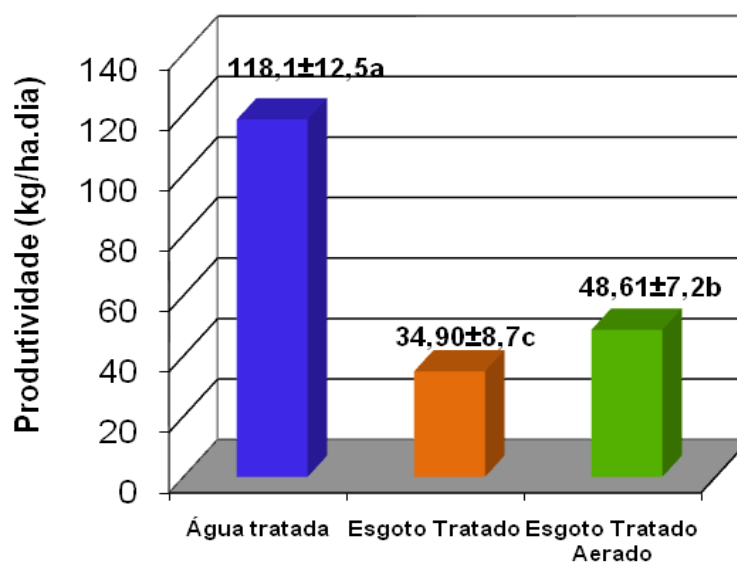
Na Figura 32(C), estão os resultados de produtividade, onde o tratamento (T-01) apresenta melhor desempenho, com $118,14 \pm 12,52$ kg/ha.dia, seguido pelo tratamento (T-03), com $48,61 \pm 7,29$ kg/ha.dia, e pelo tratamento (T-02), com $34,90 \pm 8,78$ kg/ha.dia. Para este parâmetro também se repete o padrão dos resultados estatisticamente diferentes relatados para os parâmetros anteriormente referidos.



(A)

(B)

Figura 32. (A) Representação gráfica do ganho médio diário em comprimento (cm/dia). (B) Representação gráfica do ganho médio diário de peso (g/dia), ao final do cultivo nos três tratamentos experimentais. Teresina-PI (2010).



(C)

Figura 32. (C) Representação gráfica da produtividade média (kg/ha.dia) ao final do cultivo nos três tratamentos experimentais. Teresina-PI (2010).

Nesse experimento, para os tratamentos T-02 e T-03, os resultados de crescimento diário obtidos (Figura 32 A), ficaram um pouco abaixo do intervalo dos valores alcançados nos experimentos realizados com uso de esgotos tratados em

lagoas de estabilização no cultivo da tilápia do Nilo, em Aquiraz- CE, por Santos *et al.* (2007) e Santos *et al.* (2008), nos quais os valores variaram entre 0,154 - 0,169 cm/dia.

Mas, é importante destacar que nos cultivos em Aquiraz-CE, utilizaram-se viveiros de alvenaria estruturada, com capacidades volumétricas (50 m³), superiores aos de fibra (3,80 m³) empregados nessa pesquisa em Teresina-PI. Esta condição pode ter influencia favorável aos melhores resultados encontrado.

Entretanto, os resultados obtidos nesse experimento (Teresina-PI), foram superiores aos alcançados por Cavalheiro *et al.* (2007), os quais, utilizando resíduos da indústria de processamento de camarão na formulação de ração para tilápia do Nilo, e obtiveram crescimento diário em comprimento variando de 0,065 a 0,071 cm/dia.

Para o ganho de peso diário, Santos *et al.* (2009a e 2009b), alcançaram valores que variaram entre 0,286 g/dia e 1,357 g/dia, com o uso de esgoto tratado, também cultivando tilápia. Os resultados alcançados nessa pesquisa (Figura 32-B), são superiores aos valores acima citados.

Pode-se comparar também os resultados obtidos nesse experimento com os obtidos por Cavalheiro *et al.* (2007), os quais obtiveram ganho de peso diário variando de 0,13 a 0,16 g/dia; El-Shafai *et al.* (2004) alimentando tilápias do Nilo com a macrófita aquática, *Lemna gibba*, que são utilizadas no pós-tratamento de esgoto doméstico tratado em um reator UASB e variando as concentrações de amônia tóxica na água, obtiveram resultados de ganho de peso diário entre 2,9 e 15,0 g/dia. Assim, o ganho de peso diário alcançado nesse são maiores que os verificados em Cavalheiro *et al.* (2007), e menores que os encontrados por El-Shafai *et al.* (2004).

Por outro lado, os resultados das análises dos parâmetros zootécnicos dos peixes (ver Tabela 22), obtidos neste trabalho, após cento e cinquenta e quatro dias de cultivo, revelou que tais resultados são superiores aos obtidos no experimento de Pereira (2004). O citado pesquisador, trabalhando com a mesma espécie de peixe (tilápias) e igual densidade de estocagem (3 indivíduos/m²), para o tratamento que utilizava esgoto doméstico tratado em lagoa de estabilização, após 189 dias de cultivo conseguiu que os animais submetidos a estas condições de cultivo (esgoto

tratado aerado, sem ração) alcançassem o peso final de 126,9 g; este resultado corresponde a um ganho de peso diário de 0,67 g/dia.

Entre os resultados de produtividade relatados na bibliografia podem ser citados os obtidos por Olah (1980), que alcançou 4,72 kg/ha.dia; Leon e Moscoso (1999), com valores de 2,51; 6,14; 8,21 kg/ha.dia; e os de Santos *et al.* (2007), que obtiveram produtividade de 62,28 kg/ha.dia (com aeração mecânica) e entre 1,63-11,78 kg/ha.dia (sem aeração mecânica). Silva *et al.* (2006), fazendo policultivo de tilápia com carpa, alcançaram produtividade de 2,6 kg/ha.dia.

Comparados com a produtividade alcançada nesse experimento, observa-se que os resultados obtidos ficaram abaixo somente da produtividade alcançada por Santos *et al.*(2007), no tratamento com aeração mecânica. Assim, verifica-se que a superioridade com relação aos demais resultados citados, qualifica a produtividade alcançada nesse experimento como estando acima da média.

Os dados de sobrevivência também foram semelhantes aos alcançados nos experimentos com a tilápia do Nilo, realizados por Santos *et al.* (2009a e 2009b), que variaram de 59,6% a 100%. Cavalheiro *et al.* (2007) obtiveram sobrevivência variando entre 73 e 100%. Nos experimentos realizados por Frei *et al.* (2007), as sobrevivências foram de 69 e 57%. Ghosh (2004), ao cultivar o bagre filipino, *Clarias batrachus*, em viveiros fertilizados com adubo produzido através de vermicompostagem dos resíduos sólidos urbanos, obteve sobrevivência de 100%.

Ao comparar os resultados obtidos é possível verificar os benefícios causados pela aeração por *air-lift* no desempenho dos alevinos, ficando clara a influência positiva na melhoria de resultados do cultivo, no tratamento em que se adotou esta técnica. No entanto, são necessários mais estudos para que seja aprimorada a metodologia a ser aplicada na alevinagem da tilápia do Nilo utilizando esgoto doméstico tratado, para que possam ser alcançados melhores resultados com o sistema de aeração, tanto para a melhoria do aparato de fornecimento do oxigênio, como no turno de aeração para melhor desempenho.

4.4.2. Conversão alimentar aparente (CAA)

A conversão alimentar aparente (CAA) representa a relação entre a quantidade de ração consumida e o peso ganho. Nesse trabalho, obteve-se para o tratamento

T-01, em que foi fornecida ração balanceada com níveis de proteínas compatíveis com cada fase do desenvolvimento dos alevinos, uma conversão alimentar de 1,25, ou seja, gastou-se 1,25 g de ração para produzir 1,0 kg de peixe, bem próximo do valor de 1,2 praticado pelas pisciculturas convencionais.

Quanto aos tratamentos T-02 e T-03, o coeficiente de conversão alimentar é zero, pois não foi utilizada ração industrializada nestes tratamentos. Portanto, para produção da biomassa corpórea, os peixes assimilaram a biomassa algal contida no esgoto que abasteceu os tanques destes tratamentos. Isto é o que se deseja no cultivo usando esgotos tratados, obtendo-se produção de peixes a custo zero para o insumo alimentação (ração). Na Figura 33, podem ser vistas amostras dos peixes ao final do período experimental, para os três tratamentos.

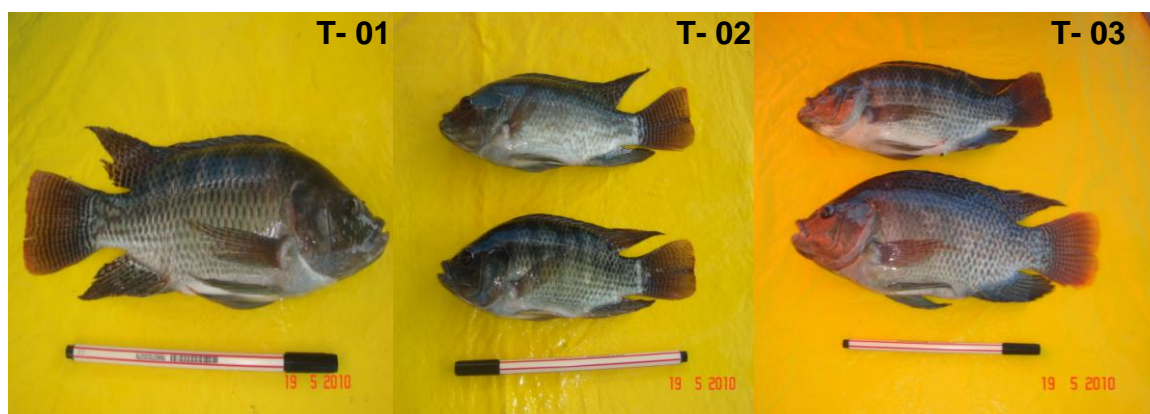


Figura 33 - Amostra dos peixes ao final do cultivo para os tratamentos T-01, T-02 e T-03. Teresina-PI (2010).

Frei *et al.*(2007) realizaram experimentos em sistema de rizipiscicultura com tilápia do Nilo e consorciando tilápia do Nilo com carpa comum, *Cyprinus carpio*, nos quais obtiveram resultados de CAA de 0,99 e 1,07. Sesuk *et al.* (2009), cultivando tilápia em sistema de recirculação fechado sem troca de água, obtiveram conversões entre 1,27 e 1,37. El-Shafai *et al.* (2004) obtiveram CAA de 1,5 a 8,0 representando um consumo elevado de ração, bem superior ao realizado nesse experimento que foi comparável ao índice obtido no cultivo de Sesuk, *et al* (2009), e inferior aos resultados alcançados no experimento com um sistema de rizipiscicultura, e tilápia consorciada com carpa comum.

4.5. Qualidade do pescado produzido

4.5.1. Microbiologia do pescado

As análises realizadas no Núcleo de Estudos e Pesquisas em Produção de Alimentos (NUEPPA) da UFPI, para identificar a presença e concentração de Coliformes Termotolerantes, Estafilococos Coagulase Positiva e Salmonela sp, nos peixes produzidos na unidade experimental, obedeceu a metodologia já citada e adotou os valores de referência para os padrões microbiológicos da resolução RDC nº12 - ANVISA, de 02 de Janeiro de 2001, que são: para Estafilococos Coagulase Positiva, o limite máximo de 10^3 Unidades Formadoras de Colônia (UFC) /g; para Salmonela sp., a ausência de Salmonela/25g de tecido.

Para Coliformes Termotolerantes, não existe valor de referência, pois se considera que o alimento não será consumido *in natura*, sendo que no processo de preparo do mesmo utiliza-se o tratamento térmico. De acordo com as análises realizadas, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Análise microbiológica em tecidos de peixes nos diferentes tratamentos experimentais. Teresina-PI (2010).

| Amostras dos Tanques | <i>Salmonella</i> sp. | <i>Estafilococcus aureus</i> | Coliformes a 35°C | Coliformes a 45°C |
|----------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|
| Água Tratada + Raç. (T-01) | ausência | ausência | <3 | <3 |
| Esgoto tratado. (T-02) | ausência | ausência | <3 | <3 |
| Esgoto tratado+ Ar. (T-03) | ausência | ausência | <3 | <3 |

Coliformes - Número mais provável por grama (NMP/g). Não houve presença significativa de coliformes nos peixes analisados, e nem presença de *Salmonella* e *Estafilococcus aureus*. As condições higiênico-sanitárias dos peixes criados neste cultivo são adequadas.

Nas análises de helmintos e protozoários realizadas pelo LASAN da UFPI, nenhuma das amostras foi positiva para qualquer gênero pesquisado. Observou-se apenas a presença de ácaros, provavelmente de vida livre.

Portanto, quanto aos aspectos microbiológicos, os pescados produzidos na unidade experimental de réuso de águas, em Teresina, não oferecem qualquer restrição para o consumo humano. Resultados semelhantes também foram encontrados por Santos *et al.*(2007) e Pereira (2004), confirmando que o pescado

cultivado em esgoto doméstico tratado atende aos requisitos microbiológicos estabelecidos pela legislação vigente.

4.5.2. Aceitabilidade e preferência

Conforme os resultados obtidos pelos testes de análises sensoriais (escala hedônica de nove pontos), as tilápias procedentes do tratamento T-03 foram as que apresentaram maior aceitabilidade, representando 78,43% ($p= 0,034$) das respostas “gostei”, demonstrando que os pescados possuíam características sensoriais favoráveis para sua comercialização (Figura 34).

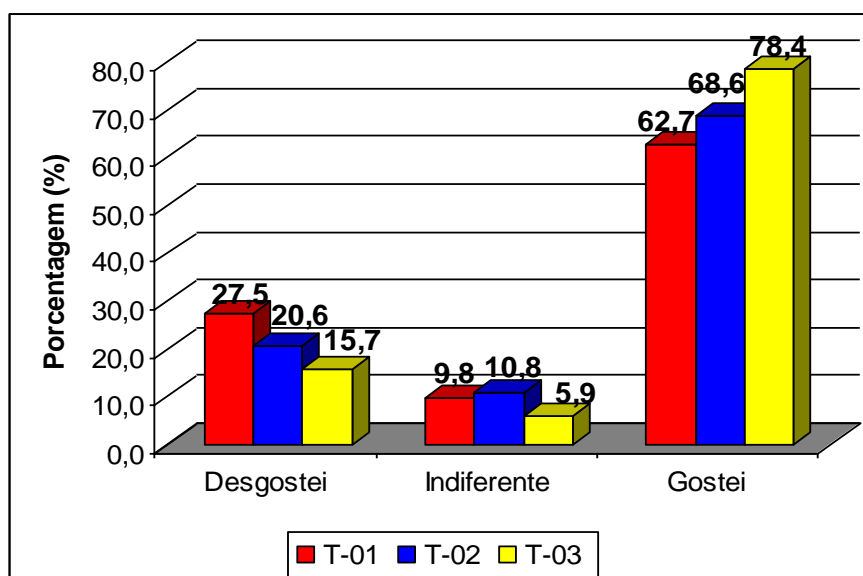


Figura 34 - Distribuição percentual de respostas sensoriais dos provadores (aceitabilidade – escala hedônica) das tilápias dos três tratamentos. Teresina-PI (2010).

Pereira (2004), utilizando o método de Análise Descritiva Comparativa – ADQ, realizou a análise sensorial comparativa entre peixes criados com efluente de esgoto tratado e água limpa com ração, e avaliou que apesar da diferença de gostos encontrada, os julgadores não foram unânimes e não tiveram opiniões que definissem significativamente se haverá um impedimento com relação ao sabor da carne do peixe para comercialização.

Rosa (1989) *apud* Pereira (2004), não encontrou diferença significativa na análise de palatabilidade da carne de tilápias criadas com dejetos de suínos ou com

ração de suínos, concluindo que os peixes estavam dentro dos padrões e normas para o consumo humano.

O teste pareado de preferência, revelou que o tratamento T-02 obteve a maior preferência pelos provadores. O confronto T-01 x T-02, foi o único que apresentou diferença estatística significativa segundo o teste do qui-quadrado (Tabela 24).

Tabela 24 - Teste de Pareado de Preferência pelos peixes cultivados nos diferentes tratamentos. Teresina-PI (2010).

| Testes | Teste de Preferência | |
|--------------|----------------------------|--------------|
| | Nº | % |
| T01 | 17 | 34,0 |
| T02 | 33 | 66,0 |
| Total | 50 | 100,0 |
| Estatística | $\chi^2 = 10,24$ p = 0,001 | |
| T01 | 22 | 44,0 |
| T03 | 28 | 56,0 |
| Total | 50 | 100,0 |
| Estatística | $\chi^2 = 1,44$ p = 0,230 | |
| T02 | 26 | 52,0 |
| T03 | 24 | 48,0 |
| Total | 50 | 100,0 |
| | $\chi^2 = 0,16$ p = 0,689 | |

4.5.3. Índice do *rigor mortis* (IRM)

O início e duração do “*rigor mortis*” depende de uma série de fatores, tais como a escolha da espécie, a maneira de captura, a temperatura de estocagem após a captura e a ação da carga bacteriana no ambiente de cultivo.

Os fatores que influem no “*rigor mortis*” são importantes na conservação do pescado, estando diretamente relacionados aos estágios iniciais de sua deterioração, pois o animal vivo possui membrana impermeável que separa as enzimas autolíticas dos componentes celulares, enquanto que, após a morte, essa membrana torna-se permeável, promovendo o amolecimento dos músculos, através de uma série de reações autolíticas com quebra de proteínas e gorduras.

O progresso do *rigor mortis* dos peixes utilizados nesta pesquisa estão registrados nas Figuras 35(A) e 35(B) e os resultados alcançados com os peixes provenientes dos tratamentos T-01, T-02 e T-03, estão relacionados a seguir:

- Para os indivíduos pertencentes ao tratamento T-01 (água potável + ração), na primeira hora ocorreu um IRM de 9,3%, sendo de 89,9% o IRM máximo verificado após 72 horas (3 dias) do início do experimento. O início da resolução do rigor aconteceu após 144 horas (6 dias) com IRM de 71,42%. Após 216 horas (9 dias) foi então observada a máxima resolução do rigor para o valor de 39,8%.
- Nos peixes pertencentes ao tratamento T-02 (esgoto tratado), na primeira hora, o IRM foi de 6%, sendo de 72,22% o IRM máximo verificado após 72 horas (3 dias) do início do experimento. O início da resolução do rigor aconteceu após 144 horas (6 dias) com o IRM de 64,4%. Após 216 horas (9 dias) foi então observada a máxima resolução do rigor para o valor de 23,33%.
- Quanto aos indivíduos pertencentes ao tratamento T-03 (esgoto tratado+ar), na primeira hora, o IRM foi de 11,11%, sendo de 72,66% o IRM máximo, verificado após 72 horas (3 dias) do início do experimento. O início da resolução do rigor aconteceu após 144 horas (6 dias) com o valor de 58,88% , após 216 horas (9 dias) foi então observada a máxima resolução do rigor para o valor de 20,0%.
- As medições e registros do pH durante o teste apresentaram os seguintes resultados: para o tratamento T-01 (água potável+ração) o pH manteve-se neutro (pH = 7) durante todo o período experimental. No tratamento T-02 (esgoto tratado) e T-03 (esgoto tratado+ar) observou-se que o pH inicial acusou o valor de 7 e atingiu o nível 8 ao final do experimento.



Figura 35 – Amostra dos peixes durante o teste de Rigor Mortis: (A) Início do teste, (B) máxima contração. Teresina-PI (2010).

Com base nos resultados obtidos neste teste de IRM, verificou-se que os animais testados, independente do tipo de tratamento, manteriam o frescor desejável por até seis dias, desde que fossem observadas e mantidas as condições do processo de captura, abate e conservação utilizados neste experimento (Figura 36).

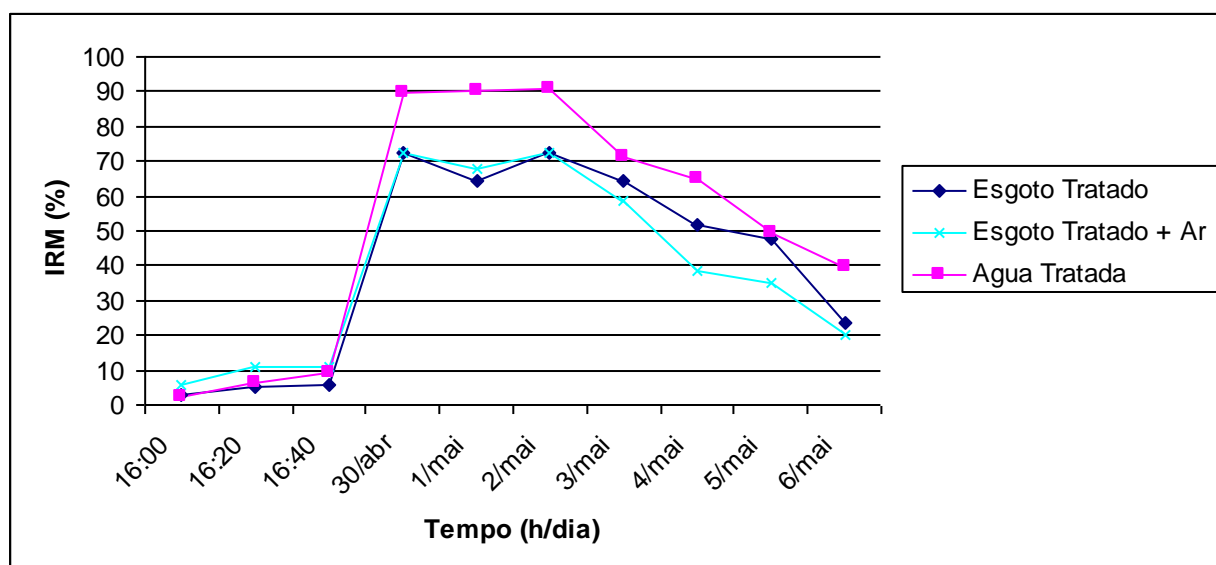


Figura 36 - Curva de desenvolvimento para o *rigor mortis* nos tratamentos experimentais. Unidade Experimental de Reúso de Águas. Teresina-PI (2010).

Lessi *et al*(2004), pesquisando alterações bioquímicas *post-mortem* em matrinxã (*Brycon cefaphalus*) sacrificados por hipotermia e conservados em gelo, obteve a resolução do rigor-mortis dos espécimes após 10 dias, apresentando média de inclinação de 88,07% ($\pm 10,22$) de rigor e atingindo 75,03% ($\pm 5,23$) com 17 dias de estocagem em gelo. Em pesquisa realizada por Almeida *et al* (2005) com tambaqui (*Colossoma macropomum*) procedente de piscicultura para determinação do IRM e sua relação com nucleotídeos, após abate por hipotermia, observou que o

progresso do *rigor-mortis* ocorreu linearmente até 20 minutos após a morte e o índice de rigor foi de 80,1%. Aos 30 minutos, ocorreu o máximo de contração (99,4%). O início da resolução do rigor ocorreu após 144 horas (6 dias), com o índice de rigor de 91,5%, e a resolução total com 360 horas, (15 dias) apresentando o IRM de 46,7%.

Em outro trabalho, Albuquerque *et al* (2005), avaliaram o estado de frescor, textura e composição muscular da tilápia do Nilo, cujo os resultados indicaram que no início do armazenamento em gelo os peixes apresentavam ótimo estado de frescor permanecendo estáveis nesta condição durante os 7 primeiros dias de armazenamento, mas, entre o 12º e o 17º dia de armazenamento, foi observado o aparecimento de opacidade no cristalino do olho e descoloração das guelras.

Avaliando os resultados acima discriminados, observa-se que exceto o experimento realizado em Teresina, todos os demais usaram animais (amostras) provenientes de pisciculturas convencionais, o que pode explicar o maior tempo de frescor, em função de padrões zootécnicos normalmente superiores aos exemplares cultivados em esgotos domésticos tratados.

4.5.4. Teste de genotoxicidade

Vários biomarcadores têm sido usados para a detecção de exposição à genotóxicos em poluição de águas, e os eritrócitos de peixes podem ser usados como marcadores sentinelas da exposição a compostos mutagênicos (BOMBAIL *et al.*, 2001; MITCHELMORE; CHIPMAN, 1998). Os peixes são importantes indicadores de poluição de água e o teste de micronúcleos em tanques é um importante indicador para investigar muitas classes de compostos mutagênicos e contaminantes químicos em peixes (CARRASCO *et al.*, 1990; CAVAS; KONEN, 2007). A utilização dos eritrócitos destes animais permite uma rápida resposta sem sacrifício e sofrimento dos organismos utilizados no biomonitoramento (HOOFTMAN e RAAT, 1982).

Os micronúcleos (Figura 37) são cromossomos ou fragmentos de cromossomos observados durante a anáfase da divisão celular, devido aos efeitos de agentes aneugênicos (perda de cromossomos) e clastogênicos (quebras de cromossomos), que depois na telófase dão origem aos pequenos núcleos. Vários estudos vêm sendo

realizados para avaliação de químicos mutagênicos ou carcinogênicos em peixes (SANCHEZ-GALAÑ *et al.*, 2001; RODRIGUEZ-CEA *et al.*, 2003).



Figura 37-Fotomicrografia de micronúcleo em eritrócitos de sangue periférico de tilápias do Nilo (Laboratório de citogenética e genética toxicológica, UFPI). Teresina-PI (2010).

Os dados obtidos para a frequência de micronúcleos em eritrócitos de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) foram estatisticamente significantes ($P < 0,0001$) somente no tratamento (T-02), em relação ao controle negativo, e significante para $P < 0,05$ em relação aos eritrócitos dos peixes do tratamento (T-01), conforme está demonstrado na Tabela 25 e Figura 38.

Tabela 25 - Avaliação da mutagenicidade em tilápias do Nilo criadas em tanques experimentais, para diferentes tratamentos, com a aplicação do teste de micronúcleos em eritrócitos de sangue periférico. Teresina-PI (2010).

| Tratamento | N | MN/1000 eritrócitos ¹ | % MN/1000 eritrócitos ¹ |
|---|----|-------------------------------------|-------------------------------------|
| CN (água de poço artesiano) | 15 | 0,46 ± 0,16 | 0,04 ± 0,01 |
| CP peixes expostos ao metabissulfito de sódio | 15 | 4,7 ± 0,97 ^{a***} | 0,47 ± 0,09 ^{a***} |
| Tratamento (T-01) (água sem Cloro) | 15 | 0,7 ± 0,18 | 0,07 ± 0,01 |
| Tratamento (T-02) (esgoto tratado) | 27 | 4,6 ± 0,72 ^{a***, b*** b*} | 0,46 ± 0,07 ^{a*** b*** b*} |
| Tratamento (T-03) (esgoto tratado + Ar) | 22 | 2,0 ± 0,44 | 0,20 ± 0,04 |

N (número de peixes); ¹ Média ± Erro padrão. ANOVA, Dunnett's Multiple Comparison Test. Significância em ^a $P < 0,0001$ em relação ao controle negativo e ^{b***} $P < 0,0001$ e ^{b*} $P < 0,05$ em relação aos tratamentos (T-01) e (T-03); CN (Controle Negativo), CP (Controle Positivo) e MN (Micronúcleos).

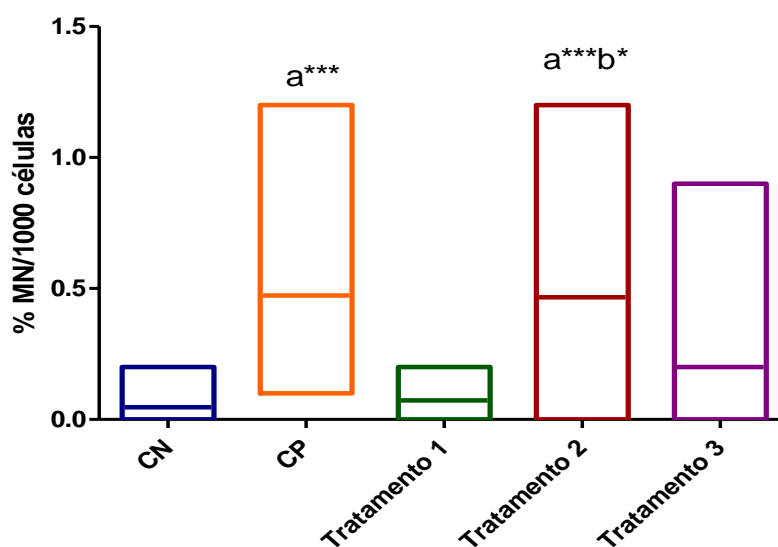


Figura 38 - Frequência de micronúcleo em eritrócitos de tilápias do Nilo em tanques, expostos a diferentes tratamentos. Significância em ^a $P < 0,0001$ em relação ao controle negativo e ^{b***} $P < 0,0001$ e ^{b*} $P < 0,05$ em relação aos tratamentos (T-01) e (T-03), respectivamente. CN (Controle Negativo), CP (Controle Positivo) e MN (Micronúcleos).. Teresina-PI (2010).

Entretanto, a significância observada não indica mutagenicidade em eritrócitos de tilápia do Nilo, pois, segundo Heddle (1973) e Schmid (1975), para 1.000 células por animal a mutagenicidade pode ser observada se a frequência de micronúcleos estiver acima de 0,5%, aspecto não observado em nenhum dos tanques em estudo. Dessa forma, os dados não indicam a presença de substâncias potencialmente mutagênicas adicionadas nos tratamentos em estudo. O aumento da frequência de micronúcleos pode ser explicado por prováveis fatores relacionados ao estresse ambiental, tais como a incidência de radiações UV e especialmente as radiações UVA, além das elevadas temperaturas (SAYED *et al.*, 2007).

Cabe também enfatizar que as tilápias deste experimento foram previamente revertidas para machos com a utilização do hormônio 17- α -metiltestosterona na fase larval. Pandian; Sheela (1995), citados por Leonhardt (1997), sugerem que os resíduos dos esteróides administrados são carcinogênicos e eventualmente poderiam restringir o consumo. Por outro lado, o esteróide 17- α -metiltestosterona é eliminado logo após o término do tratamento (reversão), não sendo mais encontrado em peixes de até 1g, indicando não haver nenhum risco ao consumidor já que o peixe é criado muitos meses sem esteróides antes do abate (LEONHARDT, 1997).

Portanto, os peixes utilizados neste trabalho, estariam amparados pelos requisitos de segurança sustentados por Leonhardt (1997), pois, todos tinham peso inicial superior a 1g, e o experimento desenvolveu-se por mais de cinco meses. Além do mais, o estudo da genotoxicidade com aplicação do teste de micronúcleos em eritrócitos de peixes expostos a agentes mutagênicos, demonstrou que os animais cultivados com esgoto tratado não apresentaram frequência de micronúcleos, própria de um quadro de mutagenicidade.

4.5.5. Teste de bioimpedância (ângulo de fase)

Concluído o ciclo experimental da piscicultura com esgoto doméstico tratado, procederam-se os testes destinados à avaliação da condição do pescado (Figura 39-A e Figura 39-B) por meio da bioimpedância e conhecimento do ângulo de fase para as amostras de cada tratamento utilizado no experimento.

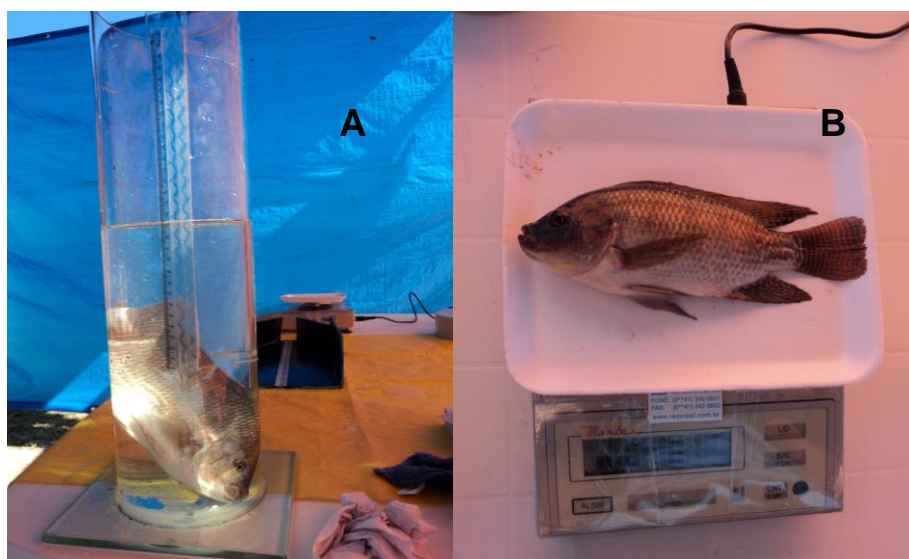


Figura 39 - Cálculo do Volume (A) e pesagem (B) das amostras, como fase para a determinação do ângulo de fase. Teresina-PI (2010).

Ocorreu importante diferença entre o ÂF do grupo do tratamento T-01 (água da rede de abastecimento e ração) e os demais grupos experimentais (T-02 e T-03), onde os valores médios, ainda que inferiores ficaram bem próximos de 15° (Tabela 26), sugerindo que o meio utilizado (esgoto tratado) para este cultivo pode ser viável,

com algumas intervenções nutricionais (adição percentual de complemento alimentar e oxigênio) e monitoramento das condições ambientais existentes.

Ângulos de fase (ÂF) maiores que 15° indicam boa condição do peixe e seu cálculo, ao relacionar resistência (R) e reatância (Xc) elétricas, possibilita a avaliação do estado fisiológico das membranas celulares e participação na distribuição de água intra e extracelular (Cox; Heintz, 2009), além de ser um bom indicador da taxa metabólica basal (Willis; Hobday, 2008).

Os valores encontrados constituem um importante indicador na confirmação da hipótese de que o ângulo de fase é uma ferramenta útil na avaliação da condição do peixe quanto aos aspectos nutricionais, posto que os animais dos tratamentos T- 02 e T-03, embora tenham mostrado déficit de desenvolvimento, não evidenciaram infecção, infestação ou mortalidade distinta do tratamento T-01.

Tabela 26–Ângulo de Fase para os peixes nos diferentes tratamentos experimentais: T-01(água tratada+ração), T-02 (esgoto tratado), T-03(esgoto tratado+ar). Teresina-PI (2010).

| Tratam. | Peixe | Peso (g) | Vol (mL) | Dens (g/mL) | Comp (cm) | R (Ω) | Xc (Ω) | Ângulo de Fase (°) |
|---------------------------------|--------------|----------|----------|-------------|-----------|----------------|-----------------|--------------------|
| T - 01 (água + ração) | Média | 378,39 | 403,89 | 0,979 | 27,30 | 161,60 | 49,00 | 16,87 |
| | DP | 48,30 | 75,57 | 0,07 | 1,89 | 10,92 | 4,79 | 1,31 |
| | CV | 12,76 | 18,71 | 7,40 | 6,94 | 6,76 | 9,78 | 7,75 |
| | Mín. | 253,00 | 246,85 | 0,788 | 23,00 | 141,00 | 40,00 | 14,54 |
| | Máx. | 455,00 | 576,00 | 1,040 | 31,00 | 185,00 | 57,00 | 18,76 |
| T - 02 (esgoto tratado) | Média | 106,15 | 101,49 | 1,058 | 19,07 | 208,90 | 49,6 | 13,39 |
| | DP | 21,58 | 24,13 | 0,10 | 1,04 | 13,68 | 3,95 | 1,14 |
| | CV | 20,33 | 23,77 | 9,45 | 5,46 | 6,55 | 7,97 | 8,54 |
| | Mín. | 73,00 | 68,57 | 0,94 | 17,50 | 181,00 | 43,00 | 11,78 |
| | Máx. | 143,00 | 137,14 | 1,41 | 21,00 | 230,00 | 61,00 | 15,56 |
| T - 03 (esgoto tratado + ar) | Média | 163,45 | 154,29 | 1,017 | 21,00 | 193,30 | 49,40 | 14,38 |
| | DP | 44,86 | 37,98 | 0,02 | 1,52 | 11,45 | 4,17 | 1,51 |
| | CV | 27,45 | 24,62 | 2,17 | 7,25 | 5,92 | 8,45 | 10,48 |
| | Mín. | 83,00 | 68,571 | 0,956 | 18,00 | 176,00 | 40,00 | 12,09 |
| | Máx. | 260,00 | 246,85 | 1,579 | 23,5 | 216,00 | 60,00 | 16,93 |

Foram testados 20 animais por tratamento. Durante os testes a umidade relativa local foi de UR = 55,16% e a temperatura media local t = 30,83 °C. DP (Desvio padrão), CV (Coeficiente de Variação).

As análises estatísticas dos parâmetros da Bioimpedância, foram realizadas também com o *software BioEstat 4.0*, utilizando a Análise de Variância – ANOVA, e o teste de Tukey para significância de 5,0 % ($p \leq 0,05$).

Embora a análise estatística (Tabela 27) mostre a diferença dos ângulos de fase para os animais dos tratamentos com esgoto, quando comparado com aqueles criados em ambiente com água potável, esta diferença em termos de valores absolutos é muito pequena, e quando se leva em consideração o valor de referência, $\hat{A}F > 15^\circ$ (WILLIS; HOBDAÏ, 2008) em pesquisas com peixes, esta diferença torna-se menos expressiva.

Tabela 27 - Simulação estatística comparativa, incluindo o valor de referência (15°) para o ângulo de fase de peixes. Teresina-PI (2010).

| Tratamento | Água+Ração | Esgoto + ar | Esgoto trat. | Referência |
|--------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| Ângulo de Fase \pm D.P | 16,87 \pm 1,31a | 14,38 \pm 1,51bc | 13,39 \pm 1,14c | 15,0 \pm 0,0b |

Os resultados que contêm a mesma letra entre os tratamentos experimentais não apresentaram diferença estatisticamente significativa para o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Como pode ser observado nesta simulação o tratamento com água + ração realmente é o de melhor condição, estando inclusive estatisticamente superior quando comparado ao valor de referência. O tratamento esgoto + aeração apresenta uma condição intermediária, pois é estatisticamente semelhante ao valor de referência e ao valor observado no tratamento sem oxigênio, que apresentou resultado inferior ao valor referência.

5.0. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos nesse trabalho, foi observado que não houve diferença significativa no ganho de peso entre os peixes cultivados na água tratada e no efluente de esgoto tratado com injeção de ar, nos setenta primeiros dias de cultivo; entretanto, após esse período observou-se sensível diferença favorável aos peixes cultivados em água tratada quando comparados com os indivíduos que se desenvolveram em ambiente com esgoto sanitário tratado.

Este fato sugere uma maior viabilidade de utilização do esgoto tratado na fase inicial do cultivo, oportunidade em que os alevinos das tilápias (peixes filtradores) possuem especial habilidade em assimilar com maior eficiência os nutrientes disponíveis no volume de esgoto que abastece os tanques experimentais. Além do mais, também foi constatado que entre os tratamentos que utilizavam esgoto, o uso de air-lift influenciou decisivamente nos melhores resultados obtidos pelo tratamento (T-03) que foi beneficiado por este processo.

Assim sendo, é fundamental que novos estudos levem em consideração a possibilidade de investigar o melhor momento para oferta de ração em condições complementares à capacidade nutricional, natural do esgoto tratado, em função da idade dos alevinos, incluindo-se também nessas pesquisas as avaliações quanto ao custo e benefício do uso conjugado do sistema de air-lift, com vistas a obtenção de melhores resultados (produtividade).

Por outro lado, os peixes procedentes dos tanques com esgoto, não atingiram o peso comercial padronizado para essa espécie (*Oreochromis niloticus*), em torno de quatrocentos gramas em média, para igual período de cultivo, mas, as condições ambientais permitiram que a sobrevivência do plantel superasse a marca de noventa pontos percentuais.

Considerando-se os resultados das análises dos parâmetros físicos, químicos e biológicos, do efluente de esgoto tratado pela ETE-Leste, foi constatado que o perfil da qualidade desse efluente é compatível com os requisitos para o uso de esgoto (réuso de águas) na piscicultura, após intervenções específicas.

Nessas análises foram observadas importantes restrições quanto à concentração de amônia no efluente final da ETE, cujos elevados níveis podem

estar relacionados com a pouca eficiência das lagoas de maturação, posto que, recomenda-se que a profundidade naqueles reatores deva ser menor do que os níveis existentes, para produzir um efluente com melhor qualidade, na utilização em piscicultura.

O cultivo de tilápias em esgoto doméstico tratado resultou na melhoria da qualidade da água nos tanques quanto à remoção de matéria orgânica notadamente na concentração de sólidos suspensos, como foi verificado nas análises físico química da água de cultivo. Este aspecto reforça o entendimento de que a atividade piscícola é menos impactante ao ambiente que o lançamento do efluente de esgoto tratado nos prováveis corpos receptores.

As análises microbiológicas, sensoriais, a bioimpedância e o *rigor mortis*, demonstraram que os peixes cultivados em esgoto tratado, apresentaram qualidade semelhante à dos peixes cultivados em ambiente de uma piscicultura convencional. Pois, com relação a pesquisa de patógenos tais como: *Coliformes*, *Salmonella* e *Staphylococos*, os resultados das análises, atenderam aos padrões normativos vigentes que são requeridos para o consumo desse tipo de alimento.

Quanto aos aspectos sensoriais os resultados oferecidos pelos testes de aceitabilidade e preferências, indicaram que não foi observada diferença significativa dentre as opções para consumo do pescado, e não havendo a interferência do natural preconceito com relação ao peixe cultivado em esgoto sanitário, esses produtos seriam consumidos sem restrições.

Por outro lado, o teste para determinação do ângulo de fase pelo processo da bioimpedância, apresentou-se como sendo uma excelente ferramenta para avaliar a condição nutricional dos indivíduos que sobrevivem em ambientes agressivos. E, nesse trabalho os ângulos de fase obtidos, bem como o frescor verificado pelo *Índice do rigor mortis*, demonstram que os resultados alcançados pelo pescado produzido em esgoto, os colocam num padrão de qualidade próprio para o consumo.

O teste de genotoxicidade com o uso da técnica de investigação dos micronúcleos em eritrócitos de sangue periférico das tilápias, na condição de biomarcadores tem o propósito de identificar as reações a nível celular dos organismos aquáticos às condições adversas do ambiente em que vivem.

Nesse experimento não foi verificada a condição de mutagenicidade, em razão da frequência dos eventos observados não serem estatisticamente significantes.

Esta condição define um ambiente em que os níveis de toxicidade estão provavelmente abaixo do limite tolerável pelos peixes ou mesmo não detectável.

Os resultados observados nos experimentos realizados demonstraram que há viabilidade do uso de esgoto doméstico tratado no cultivo de tilápias, considerando os aspectos zootécnicos, sanitários e sensoriais. Mas, é recomendável que sejam elaborados mais estudos, planejamentos e critérios, destinados ao desenvolvimento de atividades como a aplicação do esgoto doméstico tratado em aquicultura, fruticultura ou mesmo fertirrigação, pois os riscos de contaminação dos efluentes de esgotos exigem o acompanhamento continuado para verificação da qualidade d'água em todos esses sistemas.

É recomendável também que os novos projetos de Estações de Tratamento de Esgotos incorporem, em sua concepção, propostas alternativas na estrutura física e nos procedimentos operacionais, que transformem esses sistemas em importantes unidades produtoras de matéria prima (nutrientes), próprias para atividade de reúso, e capaz de agregar valor ao efluente de esgoto tratado, ao tempo em que atua positivamente na proteção ambiental.

6.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, W. F. de. *et al.* Estado de frescor, textura e composição muscular da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) abatida com dióxido de carbono e armazenada em gelo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.35, nº. especial, p. 264-271, out. 2005.

ALMEIDA, N. M. de. *et al.* Determinação do índice de *rigor mortis* e sua relação com nucleotídeos em tambaqui (*Colossoma macropomum*) de piscicultura e conservado em gelo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, nº. 3, p.698-704.mai/jun 2005.

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

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21th edition. Washington D.C, 2005.

ARAÚJO, L.de F. P. **Reúso com lagoas de estabilização, potencialidade no Ceará.** Fortaleza, SEMACE, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648:Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário.** Rio de Janeiro, 1986.

AZAZA, M. S.; DHRAÏEF, M. N.; KRAÏEM, M. M. Effects of water temperature on growth and sex ratio of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) reared in geothermal waters in southern Tunisia. **Journal of Thermal Biology**, v. 33, p. 98 – 105, 2008.

BARBOSA-SILVA, M.C.G. Can Bioelectrical Impedance Analysis Identify Malnutrition in Preoperative Nutrition Assessment. **Nutrition** 19, p 422 – 426, Elsevier Inc.USA, 2003.

BASTOS, R. K. X. *et al.* Utilização de esgotos sanitários em piscicultura. In:BASTOS, R. K. X. (Coordenador). **Utilização de Esgotos Tratados em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura.** Projeto PROSAB. Rio de Janeiro, RJ: Rima, ABES 2003, p. 193-223.

BAYS, J.S.; CRISMAN, T.L. Zooplankton and trophic state relationships in Florida lakes. **Can. J. Fish Aquat. Sci.**, v. 140, p. 1813-1819, 1983.

BENLI, A. Ç. K.; KÖKSAL, G.; ÖZKUL, A. Sublethal ammonia exposure of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.): Effects on gill, liver and kidney histology. **Chemosphere**, v. 71, p. 1355-1358, Elsevier Inc.USA, 2008.

BEVILACQUA, P. D. et.al.Utilização de Esgotos Sanitários em Piscicultura.In: FLORENCIO.L.M (Coordenadora). **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES 2006.p 301-307.

BICUDO, C. E. M.; BICUDO, R. M. T. **Algas de águas continentais brasileiras – Chave ilustrada para identificação de gêneros**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências – FUNBEC. São Paulo, 1970. 228p.il.

BITO, M.; YAMADA, K.; MIKUNO, Y.: Studies on Rigor Mortis of Fish-1, Difference in the mode of rigor mortis among some varieties of fish by modified. **Cutting's method, Bull Tokay Reg, Fish Res.Lab**; nº109, p.89-96, 1983.

BLUM, C. J. R. Critérios e Padrões de qualidade da água. In: MANCUSO, P. C. Sanches & SANTOS. H. Felício *et al.* **Reúso da Água**; Barueri, SP: Manole, 2003. p 126-174.

BOMBAIL, V. D. AW, GORDON, BATTY, E. J. Application of the comet and micronucleus assays to butterflyfish (*Pholis gunnelus*) erythrocytes from the Firth of Forth, Scotland, **Chemosphere** 44, 2001, p 383–392.

BOYD, C. E. **Water Quality in Ponds for Aquaculture**. Auburn University, Alabama. Birmingham Publishing Co. Alabama, 1990. 482 p.

BRITTO, E. R. **Tecnologias Adequadas ao Tratamento de Esgotos** – Rio de Janeiro: ABES, 2004.

BROWN, M. L; MURPHY, B.R. Relationship of Relative Weight (Wr) to Proximate Composition of Juvenile Striped Bass and Hybrid Striped Bass. **Transactions of The American Fisheries Society**, USA, 120, p.509 – 518. 1991.

BURAS, N.. Microbial safety of produce from wastewater-fed aquaculture. p. 285-295. In R.S.V. Pullin, H. Rosenthal and J.L. **Maclean (Eds.) Environmental and aquaculture in developing countries**. ICLARM Conf. Proc. v. 31, 1993. 359 p.

CAMARGO, S.G.O; POUHEY, J. L.O.F. Aqüicultura – Um mercado em Expansão. In: **Revista Brasileira de Agrociências**, v.11, n.4 p.393-396. Pelotas, out-dez, 2005.

CARRASCO, K.; TILBURY, K. L; MYERS, M. S. Assessment of the piscine micronucleus test as an in situ biological indicator of chemical contaminant effects. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 47:2123-2136, 10.1139 / f90-237.1990.

CAVALHEIRO, J.M.O.; SOUZA, E.O.; BORÁ, P.S. Utilization of shrimp industry waste in the formulation of tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus) feed. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 602–606, 2007.

CAVAS, T.; KONEN, S. Detection of cytogenetic and DNA damage in peripheral erythrocytes of Gold Fish (*Carassius auratus*) exposed to a glyphosate formulation using Micronucleus test and the comet assay. **Mutagenesis**, UK, Vol.22, nº4, p 263-268. 2007,

COLT, J. Water quality requirements for reuse systems. **Aquacultural Engineering**, Honolulu, US, v. 34, p. 143 – 156, 2006.

CONTRERAS, E. S. G. **Bioquímica de Pescados e Derivados**. Jaboticabal – SP. FUNEP, 1994.

COX, M. K ; HEINTEZ, R. **Electrical Phase Angle as a New Method to Measure Fish Condition**. National Marine Fisheries Service (NOAA), Alaska Fisheries Science Center ,Auke Bay Laboratories . Fisherys Bulletin, 107: p. 477 – 487. Alaska ,US, 2009.

D'ALKMIN TELLES. D; GUIMARÃES COSTA.R.H.P (cord.), *et.al.* **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas** - 1ª ed, São Paulo: Editora Blucher,2007.

DE CARLI, G. A. **Parasitologia Clínica: seleção de métodos e técnicas de laboratório para o diagnostico de parasitoses humanas**. 2ª edição, São Paulo, Atheneu, 2007, 906p.

DEAN, A.G. *et al.* Epi Info, Version 6.04b: a word processing database, and statistics program for epidemiology on microcomputers. **Centers of Disease Control and Prevention**. Atlanta, Georgia, USA; 1994.

DOS SANTOS, A.B. **Avaliação Técnica de Sistemas de Tratamento de Esgotos**. 1ª ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2007.

DUCAN, M. B. **The Use of Bioelectrical Impedance Analysis for Estimative The Body Composition of Various Fish Species**. Máster of Science in Fisheries and Wild life Science – Faculty of Virginia Polytechnic and State Univesity, Blacksburg-Virginia. USA, 2008.

DUTCOSKY, S.D. **Análise sensorial de alimentos**. Curitiba: Champagnat, 1996. p.83.

EDWARDS, P. **Reuse of human wastes in aquaculture**. A TECHNICAL REVIEW. UNDP– World Bank Water Research Program. Washington D.C. THE WORLD BANK. 1992, 350p.

ELMOOR-LOUREIRO, L. M. A. **Manual de identificação de cladóceros límnicos do Brasil**. Brasília: Editora Universa, 1997.

EL-SHAFI, S. A.; EL-GOHARY, F. A.; NASR, F. A. *et al.* Chronic ammonia toxicity to duckweed-fed tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 232, p. 117-127, 2004.

FAO - **Fisheries Department, State of word aquaculture 2006**. FAO Fisheries Technical Paper. No. 500. Rome, FAO. 2006. 134p.

FAO - **Fishery Statistical Collections – Global Production**, 2008. Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-production/en> (Acesso em 13de setembro de 2009).

FELIZATTO, M.R. **“Reúso de água em piscicultura no Distrito Federal: Potencial para pós tratamento de águas residuárias associado à produção de pescado”**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal, Brasil. 2000.

FERREIRA, V.L.P. **Análise sensorial: testes discriminativos e afetivos**. São Paulo: Profícua; Campinas; SBCTA. (Manual. Série Qualidade).1999. 109 p.

FIGUEIREDO Jr., C. A; VALENTE Jr.,A. S. **Cultivo de Tilápias no Brasil: Origens e Cenário Atual**. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/9/178.pdf>; acessado em: 20 de outubro de 2009.

FIORI, S; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinza em edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.6, n.1, p.19-30, jan / mar, 2006.

FLORENCIO, L; AISSE, M.M.BASTOS, R. K. X; PIVELI, R.P. Utilização de Esgotos Sanitários – Marcos Conceitual e Regulatório. In: FLORENCIO.L.M (Coordenadora). **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES 2006a.p 1-13.

FLORENCIO, L; AISSE, M.M.BASTOS, R. K. X; PIVELI, R.P. Uso do Esgotos Tratados para Produção Animal. In: FLORENCIO. L.M (Coordenadora). **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES 2006b. p 301-330.

FOSTER, K. R; LUKASKI, H. C. Whole Impedance, What Does it Measure? **The American Journal of Clinical Nutrition** 64 (suppl.): 388S – 96S. American Society for Clinical Nutrition. USA, 1996.

FREI, M.; RAZZAK, M. A.; HOSSAIN, M. M.; OEHME, M.; DEWAN, S.; BECKER, K. Performance of common carp, *Cyprinus carpio* L. and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) in integrated rice–fish culture in Bangladesh. **Aquaculture**, v. 262, p. 250–259, 2007.

GHOSH, C. Integrated vermin-pisciculture – an alternative option for recycling of solid municipal waste in rural India. **Bioresource Technology**, v. 93, p. 71-75, 2004.

GUNTZEL, A.; ROCHA, O. Relações entre a comunidade zooplanctônica e a condição tróficas da Lagoa do Caconde, Osório, RS, Brasil. **Iheringia, Série Zoológica**, Porto Alegre (84); 65-71, 20 de maio de 1998.

HEDDLE, J.A. A rapid in vivo test for chromosomal damage. **Mutation Research / Fundamental and Molecular Mechanisms Mutagenicis**, Califórnia, US. v18, issue 2, 187–190, 1973.

HESPANHOL, I. Esgotos Domésticos como Recursos Hídricos – Parte I; Dimensões Políticas, Institucionais, Legais, Econômico-Financeira e Sócio – Culturais. **Revista da Engenharia**, São Paulo, nº.523, p.45-58, 1997.

HOOFTMAN, R.N., RAAT, W.K. Induction of nuclear anomalies (micronuclei) in the peripheral blood erythrocytes of the eastern mudminnow *Umbra pigmaea* by ethyl methanesulphonate. **Mutation Research**.104, Califórnia, US ,147–152, 1982.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Estatística da Pesca, 2007. Brasil, grandes regiões e Unidades da Federação** – Brasília – DF, 2009.

JORDÃO, E. P; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**, 4ª ed., Rio de Janeiro: ABES, 2005.

KELLNER, E; PIRES, E. C. **Lagoas de estabilização: projeto e operação**. Rio de Janeiro: ABES, 1998.

KUBITZA, F. “Tilápia – **Tecnologia e Planejamento na Produção Comercial**”. Editora ACQUA & IMAGEM, Jundiaí – SP, 2000. 285p.

LEON S., G.; MOSCOSO C. J. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Tradução de H.R. Gheyi, A. König, B.S.º Ceballos, F. A. V. Damasceno. Campina Grande, UFPB, 1999, 110 p.

LEONHARDT, J. H. **Efeito da reversão sexual em tilápia do Nilo**. Tese de Doutorado, Pós-Graduação em Aqüicultura. Centro de Aqüicultura , UNESP. Jaboticabal- São Paulo, 1997, 140p.

LESSI, E. *et al.* Alterações bioquímica *post-mortem* de matrinxã (*Brycon cephalus*), procedente da piscicultura mantido em gelo. **Ciência, Tecnologia e Alimento**. Campinas, v.24 nº.4, out/dez 2004. p. 573-581.

LOURES, B. T. R. R *et al.*, Manejo alimentar de alevinos de tilapia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (L.) associado às variáveis físicas, químicas e biológicas do ambiente. **Acta Scientiarum Animal Science**, v. 23, n. 04, p. 877-883, 2001.

LUKASKI, H.C, *et al.* Assessment of Fat - Free Mass Using Bioelectrical Impedance Measurements of The Human Body. The **American Journal of Clinical Nutrition** 41: p. 810 – 817. American Society for Clinical Nutrition. USA, 1985.

MACÊDO – VIÉGAS, E.M.; SOUZA, M.L.R. **Pré-processamento e conservação do Pescado produzido em Piscicultura**. In: CYRINO, J.E.P.; URBINATI, E.C.; FRACALOSSO, D.M.; CASTAGNOLI, N. Tópicos Especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva. 1ª. Ed. São Paulo. TecArt, 2004. p 405-481.

MANCUSO, P. C. S; SANTOS. H. *et al.* **Reúso da Água**; Barueri, São Paulo: Manole, 2003.

MATSUMURA-TUNDISI, T.; LEITÃO, S.N.; AGUENA, L.S.; MIYAHARA, J. Eutrofização da represa de Barra Bonita: estrutura e organização da comunidade de Rotífera. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 50, n.4, p. 923-935, 1990.

MENDONÇA, S.R. **Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novos conceitos**. João Pessoa: Ed. Universitária, UFPB, 1990. 385 p.

METCALF & EDDY, Inc. **Water reuse: issues, technologies, and applications**. 1ª.ed. New York: Mc Graw-Hill, 2007.

MINISTÉRIO DA PESCA E AQUICULTURA, **Relatório Anual**, Brasília – DF, 2010.

MITCHELMORE, C.L. CHIPMAN, J.K. DNA strand breakage in aquatic organisms and the potential value of the comet assay in environmental monitoring, **Mutation Research**.104, Califórnia, US. 399 (1998) 135–147.

MONTEIRO, C.A.B. **Caracterização do esgotamento Sanitário de Teresina: Eficiência, Restrições e Aspectos Condicionantes**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) pela Universidade Federal do Piauí, 2004.

MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. Reúso de águas: conceitos; importância; tipos. In: MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. (Organizadores) **Reúso de águas em irrigação e piscicultura**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará – Centro de Tecnologia, 2007. p. 21-37.

MUEHLEMANN. L.D. *et al.* **Manual Básico de Piscicultura**; Curitiba, EMATER - PR, 2004.

NUNES, A. E. *et al.* **Avaliação de desempenho do sistema de lagoas de estabilização - ETE Leste (Teresina – PI)**. (Monografia de Especialização em Recursos Hídricos; Universidade Federal do Piauí), 2001. 111 p.

NUNES, J. A. **Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. 1º Edição – Aracaju; Gráfica Editora J.Andrade. 2010.

NUVOLARI, A. *et al.* **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. 1. ed., São Paulo: Ed.Edgard Blücher LTDA/FATEC-SP/CEETEPS, 2003.

OLAH, J. Structural and functional quantification in a series of Hungarian hypertrophic shallow lakes. **Hypertrophic Ecosystems**. Junk, The Hague, Netherlands, 1980, p. 191-202.

OSTRENSKY. A; BOEGER. W. **Piscicultura: Fundamentos e Técnicas de Manejo**. Guaíba – RS, Livraria e Editora Agropecuária, 1998, 211p.

PADILHA. R.S.; MOTA. S.; MONTEGGIA, L.O.; SANTOS. A.B; SANTOS. E.S. Utilização de Nutrientes de Esgoto Tratado na Piscicultura, In: MOTA, S.; VON SPERLING. M. (Organizadores) **Nutrientes de esgotos sanitários: utilização e remoção**. ABES; Rio de Janeiro.2009. p.147-173.

PIVELLI, R.P.; MONTEGGIA, L.O. FILHO CORAUCCI. B.; VON SPERLING. Remoção de Nutrientes em Sistemas Naturais, In: MOTA, S.; VON SPERLING. M. (Organizadores) **Nutrientes de esgotos sanitários: utilização e remoção**. ABES; Rio de Janeiro.2009. p.393-340.

PEIRONG, S. The biology of major freshwater-cultivated fishes in china”. In: Integrated Fish Farming in China. **NACA Technical Manual 7** – Network for Aquaculture Centres in Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand, 1989, 1-32 p.

PEREIRA, C. M. **Avaliação do uso de peixes planctófagos como tratamento complementar de efluentes domésticos**. 85p.Dissertação de Mestrado em Aqüicultura. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2000.

PEREIRA, C. M. **Avaliação do Potencial do Efluente de Lagoas de Estabilização para Utilização na Piscicultura**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Florianópolis. 2004.

PROENÇA, C. E. M de, BITTENCOURT, P.R.L. **Manual de Piscicultura Tropical** – Brasília: IBAMA, 1994.

REID, J. W. **Chave de identificação e lista de referências bibliográficas para as espécies continentais sulamericanas de vida livre da ordem Cyclopoida (Crustacea, Copepoda)**. Department of Invertebrate Zoology, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, Washington, D.C 20560. U.S.A, 1984.

RODRIGUEZ-CEA, A., AYLLON, F., GARCIA-VAZQUEZ, E. Micronucleus test in freshwater fish species: an evaluation of its sensitivity for application in field surveys. **Ecotoxicol Environment**. Saf.56, 442–448, 2003.

SANCHEZ-GALA´ N, S., LINDE, A.R., AYLLON, F., GARCIA-VAZQUEZ, E. Induction of micronuclei in eel (*Anguilla anguilla* L.) by heavy metals. **Ecotoxicol Environment**. Saf.49, 139–143, 2001.

SANTOS, A. B.; FRANCA, R. M. Qualidade Físico-Química e Microbiológica da Águas de Irrigação e Piscicultura, In: MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. (Organizadores) **Reúso de águas em irrigação e piscicultura**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará – Centro de Tecnologia, 2007. p.214-215.

SANTOS, E. S. MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B; VASCONCELOS, M. M. **Cultivo de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização**. Trabalho apresentado no 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, MG, Brasil. 2007.

SANTOS, E.S. **Cultivo da Tilápia do Nilo em Esgotos Doméstico Tratado com diferentes Taxas de Alimentação**. 104p .Dissertação de Mestrado em Engenharia de Pesca. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

SANTOS, E. S.; OLIVEIRA, M. A.; MOTA. S.; AQUINO, M. D.; VASCONCELOS, M. M. Crescimento e qualidade dos alevinos de tilápia do Nilo produzidos em esgoto doméstico tratado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p.232-239, 2009^a.

SANTOS, E. S.; FURTADO-NETO, M.; MOTA. S.; DOS SANTOS, A. B.; AQUINO, M. D. Cultivo de tilápia do Nilo em esgoto doméstico tratado, com diferentes taxas de alimentação. **Revista DAE**, v. 180, p. 4-11, 2009^b.

SAYED, A. E H.; AHMEDTH. I.; IMAN A.A. M.; USAMA, M. M. Acute effects of Ultraviolet-A radiation on African Catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), **Journal of Photochemistry and Photobiology** 89, p. 170-174, 2007.

SCHMID, W., 1975. The micronucleus test. **Mutation Research**, 31, 9–15. Division of Medical Genetics, Department of Pediatrics. University of Zurich, Switzerland, 1975.

SCORVO FILHO, J.D. **Panorama da Aqüicultura Nacional**. Disponível em: www.cca.ufsc.br/~jff/.../pdf/Panorama_aquicultura_nacional.pdf./acessado em 17 de set de 2009.

SEAP, Secretaria Especial de Aqüicultura e Pesca. **Programa Mais Pesca e Aqüicultura (2008-2011)** – Plano de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, DF, 2008.

SEBRAE/RO. **Criação comercial de peixes em viveiros ou açudes**. Boa Vista, Programa de informações, (Série: Oportunidades de negócios), 2001. 36 p. (Série: Oportunidades de negócios)

SERAFINI, R. L.; ZANIBONI-FILHO, E. Effect of Combined Non-ionized Ammonia and Dissolved Oxygen Levels on the Survival of Juvenile Dourado, *Salminus brasiliensis* (Cuvier). **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 40, n. 5, p. 695-701, 2009.

SERATTO, C. D. *et al.*, **Piscicultura: módulo II**. Emater – Paraná/ Curitiba, (Série Produtor), 2001, 60p.

SESUK, T.; POWTONGSOOK, S.; NOOTONG, K. Inorganic nitrogen control in a novel zero-water exchanged aquaculture system integrated with airlift-submerged fibrous nitrifying biofilters. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 2088-2094, 2009.

SILVA FILHO, J.P.S. **Avaliação ambiental da represa de Piracuruca (Piracuruca-Piauí), com ênfase nas características físicas e químicas da água e na comunidade zooplanctônica**. 220f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SILVA, L. B.; BARCELLOS, L. J. G.; QUEVEDO, R. M.; DE SOUZA, S. M. G.; KREUTZ, L. C.; RITTER, F.; FINCO, J. A.; BEDIN, A. C., Alternative species for traditional carp polyculture in southern South America: Initial growing period. **Aquaculture**, v. 255, p. 417–428, 2006.

SNIS (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES), PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Águas e Esgotos – 2007**. Brasília – DF; MCIDADES, 2009.

SOARES, J.; SILVA, S.A.; OLIVEIRA, R.; ARAÚJO, A.L.C.; MARA, D. D.; PEARSON, H.W. **Ammonia removal in a pilot – scale WSP complex in Northeast Brasil**. In: 3rd IAWQ International specialist conference. Waste stabilization ponds, Technology and applications. João Pessoa, PB, Março 1995.

TEIXEIRA, S. T. **Estudo das Características Sensoriais da Corvina (*Micropogonias furnieri*) Eviscerada e Estocada em Gelo**. Niterói–RJ. Universidade Federal Fluminense. Dissertação de Mestrado em Tecnologia de Produto Animal (2005).

TRAN-DUY, A; SCHRAMA, J.W.; VAM DAM. A. A., *et al.*(2008). Effects of oxygen concentration and body weight on maximum feed intake, growth and hematological parameters of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 275 n. 01-04, p. 152-162, 2008.

VAN HAADEL, A.C.; LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos. Um manual para regiões de clima quente**. Epgraf, Campina Grande, 1994. 240 p.

VIDAL, L. V. O. *et al.* Eugenol como anestésico para a tilápia do nilo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.8, p. 1069-1074, ago, 2008.

VINATEA, L. A. **Princípios químicos da qualidade da água em aquicultura**. Ed. UFSC Florianópolis - SC. 1997. 166 p.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. Volume I: **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 3^a Ed.2005.

VON SPERLING, M. – **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. Volume III: **Lagoas de Estabilização**, Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 3^a Ed.2002.

WATKINS, W. D; CABELLI, V. J. Effect of fecal pollution on *Vibrio parahaemolyticus* densities in an estuarine environment. **Applied Environmental Microbiology**., Washington (DC), v. 49, n. 5, p. 1307-1313, 1985.

WILLIS, J; HOBODY, A. L. Application of Bioelectrical Impedance Analysis as Method for Estimative Composition and Metabolic Condition of Southern Bluefin Tuna (*Thunnus maccoyii*) during Conventional Tagging. **Fisheries Research** (Tasmânia) Austrália 93, p. 64 – 71, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – **WHO. Health Guidelines for the use of wastewater, in agriculture and aquaculture.** Geneva: Report of a WHO Scientific Group, 1989, 74p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – **WHO. Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.**Vol. 2 Wasterwater use in agriculture. Geneva: WHO. 2006, 213p.

ZHOU, Q.; LI, K.; JUN, X.; BO, L. Role and functions of beneficial microorganisms in sustainable aquaculture. **Bioresource Technology**, Canadá, v. 100, p. 3780-3786, 2009.