

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – SANEAMENTO**  
**AMBIENTAL**

**EMANUEL SOARES DOS SANTOS**

**CULTIVO DO PEIXE ORNAMENTAL MOLINÉSIA COMO ALTERNATIVA PARA O**  
**USO DE ESGOTO TRATADO NA PISCICULTURA**

**FORTALEZA**

**2012**

EMANUEL SOARES DOS SANTOS

CULTIVO DO PEIXE ORNAMENTAL MOLINÉSIA COMO ALTERNATIVA PARA O  
USO DE ESGOTO TRATADO NA PISCICULTURA

Tese apresentada ao Curso de Doutorado em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como parte do requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil Área de Concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota

Coorientador: Prof. Dr. André Bezerra dos Santos

FORTALEZA

2012

EMANUEL SOARES DOS SANTOS

CULTIVO DO PEIXE ORNAMENTAL MOLINÉSIA COMO ALTERNATIVA PARA O  
USO DE ESGOTO TRATADO NA PISCICULTURA

Tese apresentada a coordenação do  
curso de doutorado do programa de pós-  
graduação em Engenharia Civil Área de  
Concentração: Saneamento Ambiental.

Aprovado em: 06 / JULHO / 2012.

BANCA EXAMINADORA

---

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

---

Professor Dr. André Bezerra dos Santos (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Professora Dr<sup>a</sup>. Marisete Dantas de Aquino  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Professor Dr. Cleto Augusto Baratta Monteiro  
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

---

Professor Dr. Glácio Souza Araújo  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Dedico esta conquista a Deus, a minha família e a todas as pessoas que acham que não conseguirão alcançar seus objetivos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado o discernimento necessário para tomar as decisões corretas e a perseverança necessária para não desistir.

Agradeço a toda minha família, em especial:

Aos meus filhos, Malú e Miguel, por terem sido a minha motivação.

A minha esposa, Karla Roberta, pela compreensão e o companheirismo durante toda a jornada de nossa vida em comum.

A minha mãe, Marliete, por sempre me mostrar o caminho certo e nunca me deixar esquecer o que realmente importa.

As minhas irmãs, Lorena e Suyanne, pelo apoio incondicional e constante.

Ao meu cunhado, Justino, por ter me recebido em sua casa de braços abertos durante um período muito turbulento da minha vida.

Aos meus sobrinhos, Anderson e Daniel, pela companhia durante este mesmo período.

A todas as pessoas que de forma direta e indireta participaram desta pesquisa, em especial:

Ao Diassis pela fidelidade ao meu propósito.

Ao Antonio pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Ao Ismael pela ajuda na identificação fitoplanctônica.

Ao Filipe pela ajuda na avaliação histopatológica.

Ao Gilmar pela grande força dada nos trabalhos de campo;

Ao Rafahel pelo companheirismo, amizade e ajuda dedicada durante estes anos de trabalho em equipe ... juntos fomos uma multidão!

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos dois anos e meio em que recebi a bolsa de doutorado, a qual foi essencial para que pudesse me dedicar a esta causa.

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece) pela parceria realizada com o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DEHA), o que permitiu a realização das pesquisas que deram origem a minha monografia, dissertação, e agora a Tese.

Ao meu coorientador Prof. Dr. André Bezerra dos Santos e ao meu orientador Prof. Dr. Suetônio Mota pelas diversas orientações realizadas durante os últimos sete anos. Hoje sou um profissional melhor graças às características positivas que pude absorver de ambos.

## RESUMO

Avaliou-se a sustentabilidade da utilização de esgotos domésticos tratados na criação do peixe ornamental molinésia, observando o desempenho zootécnico, a capacidade de adaptação deste ao meio e o rendimento econômico desta modalidade de cultivo. Foram testados três tratamentos: ET – abastecido com esgoto tratado; ED – abastecido com esgoto diluído e água bruta em iguais proporções; AB – abastecido com água bruta. Por meio dos resultados dos parâmetros físico-químicos, observou-se que o esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização oferece condição para se realizar o cultivo da espécie, somente quando diluído em água bruta. Observaram-se nos tratamentos cujos tanques foram abastecidos com esgoto tratado as mesmas classes de microalgas presentes na lagoa de maturação: *Chlorophyceas*, *Cianophyceas*, *Bacillariophyceas*, *Zignemaphyceas* e *Euglenophyceas*; sendo as quatro primeiras reconhecidamente aproveitáveis como alimentação na aquicultura. Em todos os parâmetros de rendimento zootécnicos avaliados, o tratamento que utilizou o esgoto tratado diluído foi o que apresentou os melhores resultados. Dentre os indicadores de bem-estar observados, apenas a avaliação histopatológica foi capaz de fornecer resultado conclusivo, o qual apontou o tratamento que utilizou esgoto tratado diluído como o que proporcionou maior conforto à espécie cultivada. As características ornamentais dos peixes cultivados não sofreram influência do uso do esgoto doméstico tratado, observando-se que os padrões de coloração e formato de nadadeiras não foram alterados. As avaliações, econômica e de sustentabilidade, também apontaram o tratamento abastecido com esgoto tratado diluído como o mais apropriado.

**Palavras-chave:** Aquicultura ornamental. Lagoas de estabilização. Molinésia. Reúso de água.

## ABSTRACT

The present work evaluated the sustainability of treated sewage reuse in the creation of ornamental molly fish, evaluating the zootechnical performance, ability to adapt to the environment and economic aspects. Three treatments were tested: ET – supplied with treated sewage; ED – supplied with sewage and raw water in the same proportion; AB – supplied with raw water. The physical-chemical results indicated that the treated sewage from stabilization ponds were adequate for the species cultivation only when diluted in raw water. The treatments that were supplied with treated sewage contained the same classes of microalgae present in the maturation pond: *Chlorophyceas*, *Cianophyceas*, *Bacillariophyceas*, *Zignemaphyceas* e *Euglenophyceas*; the first four classes are known to be used as feed in aquaculture. Treatment that used treated sewage diluted presented the best results in terms of zootechnical parameters. Amongst the well-being indicators, only histopathological evaluation was able to provide conclusive results, which showed that the treated sewage diluted treatment was the best in terms of comfort to the cultivated species. The ornamental characteristics of farmed fish were not influenced by the use of treated sewage, in which the patterns of color and shape of fins were not changed. The sustainability and economic evaluations also indicated the treatment with diluted treated sewage as the most appropriate treatment.

**Keywords:** Ornamental Aquaculture. Stabilization ponds. Molly fish. Water reuse.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formas de reúso de água.....	30
Figura 2 - Diversas atividades em que podem ser utilizados os esgotos domésticos e industriais.....	32
Figura 3 - Diferentes sistemas para o uso do esgoto em aquicultura. ....	33
Figura 4 - Estratégia de tratamento e uso de água residuária em aquicultura.....	34
Figura 05 - Organograma dos sistemas de uso de águas residuárias na aquicultura incluindo a piscicultura ornamental e novas alternativas. ....	37
Figura 6 - Dados de produção de pescado no mundo relacionando as participações da pesca e aquicultura, continental e marinha.....	40
Figura 7 - Produção total (t) da pesca extrativa e da aquicultura brasileira no período de 1950 à 2009 e expectativa de produção para 2011.....	41
Figura 8 - Listagem das 11 espécies do grupo <i>Mollienesia</i> que ocorrem nas Américas do Norte e Central e as relações familiares existentes entre elas. ....	47
Figura 9 - Pirâmide do fluxo de energia em uma piscicultura que utiliza peixes filtradores destinados à alimentação humana. ....	50
Figura 10 - Imagem de satélite do Centro de Pesquisa sobre Tratamento de Esgotos e Reúso de Águas, Aquiraz-CE, Brasil, 2011. ....	62
Figura 11 - Imagem de satélite do sistema de lagoas de estabilização usado na pesquisa assim como um trecho do Rio Pacoti, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	63
Figura 12 - Lay-out da área experimental utilizada no experimento de cultivo do peixe ornamental <i>Mollienesia</i> spp. utilizando esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	64
Figura 13 – Fotografia da área experimental utilizada no experimento de cultivo do peixe ornamental <i>Mollienesia</i> spp. utilizando esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011. ....	64
Figura 14 - Rede de plâncton utilizada para coletar e concentrar as amostras da comunidade fitoplanctônica da água de cultivo dos tratamentos experimentais. ....	68

Figura 15 - Microscópio ótico binocular marca LEICA modelo MB 2000 com objetiva 40x, utilizada para identificação da comunidade fitoplanctônica da água dos tratamentos experimentais.....	69
Figura 16 - Amostra dos alevinos de molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., estocados nos tanques experimentais para o cultivo com esgoto doméstico tratado.....	70
Figura 17 - Representação gráfica dos resultados do monitoramento da temperatura (°C) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	86
Figura 18 - Representação gráfica dos valores médios do tratamento, superfície e fundo do oxigênio dissolvido ( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	87
Figura 19 - Imagem da coloração da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	89
Figura 20 - Representação gráfica dos valores iniciais, as médias, e os valores finais de condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	90
Figura 21 - Representação gráfica dos valores médios de cloreto ( $\text{mg L}^{-1}$ ) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	91
Figura 22 - Representação gráfica dos valores médios de alcalinidade total ( $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ) e dureza total ( $\text{mg CaOC}_3 \text{ L}^{-1}$ ) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	92
Figura 23 - Representação gráfica dos valores médios de pH da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	94
Figura 24 - Representação gráfica dos valores médios de NAT ( $\text{mg L}^{-1}$ ), nitrito ( $\text{mg L}^{-1}$ ), nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e $\text{N-NH}_3$ ( $\text{mg L}^{-1}$ ) da água de cultivo	

dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	96
Figura 25 - Representação gráfica das participações relativas e concentrações de N-NH <sub>3</sub> e N-NH <sub>4</sub> no NAT da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011. ....	97
Figura 26 - Representação gráfica dos valores iniciais, médios e finais de DQO (mg L <sup>-1</sup> ) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	99
Figura 27 - Frequência relativa de aparecimento (%) de gêneros e táxons do fitoplâncton identificado na água do tratamento ET no cultivo experimental do peixe ornamental <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	102
Figura 28 - Fotografias de amostras de organismos das classes: <i>Euglenophyceae</i> (A), <i>Cyanophyceae</i> (B), <i>Chlamydomphyceae</i> (C) e <i>Zignemaphyceae</i> (D); que foram as mais representativas no Tratamento ET. Aquiraz-CE, Brasil, 2011. ....	103
Figura 29 - Frequência relativa de aparecimento (%) de gêneros e táxons do fitoplâncton identificado na água do tratamento ED no cultivo experimental do peixe ornamental <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	105
Figura 30 - Fotografias de amostras de organismos das classes: <i>Cianophyceae</i> (A e B), <i>Bacillariophyceae</i> (C) e <i>Euglenophyceae</i> (D); que foram as mais representativas no Tratamento ET., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	106
Figura 31 - Frequência relativa de aparecimento (%) de gêneros e táxons do fitoplâncton identificado na água do tratamento AB no cultivo experimental do peixe ornamental <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	109
Figura 32 - Fotografias de amostra de organismos das classes: <i>Chlorophyceae</i> (A, B e C) e <i>Cianophyceae</i> (D); que foram as mais representativas no Tratamento AB., Aquiraz-CE, Brasil, 2011. ....	110

Figura 33 - Representação gráfica da curva do ganho de peso (g) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	113
Figura 34 - Representação gráfica da curva de crescimento (mm) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	114
Figura 35 - Representação gráfica dos valores médios finais de crescimento (mm) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	116
Figura 36 - Representação gráfica dos valores médios de crescimento diário (mm dia <sup>-1</sup> ) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp. durante as biometrias realizadas, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	117
Figura 37 - Representação gráfica dos valores médios finais do ganho de peso (g) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	118
Figura 38 - Representação gráfica dos valores médios do ganho de peso diário (g dia <sup>-1</sup> ) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp. durante as biometrias realizadas, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	119
Figura 39 - Representação gráfica dos valores médios finais da taxa de crescimento específico (% do peso corpóreo dia <sup>-1</sup> ) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	120
Figura 40 - Representação gráfica dos valores médios da taxa de crescimento específico (% do peso corpóreo dia <sup>-1</sup> ) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp. durante as biometrias realizadas, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	121
Figura 41 - Odonata encontrada durante o manejo de despeça dentro de um dos tanques-rede utilizados para o cultivo do peixe ornamental	

<i>Mollienesia</i> spp. em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	123
Figura 42 - Curva que representa a relação peso:comprimento (g:cm) do tratamento que utilizou somente esgoto tratado (ET) para o cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	124
Figura 43 - Curva que representa a relação peso:comprimento (g:cm) do tratamento que utilizou esgoto diluído (ED) para o cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	125
Figura 44 - Curva que representa a relação peso:comprimento (g:cm) do tratamento que utilizou somente água bruta (AB) para o cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	125
Figura 45 - Amostras de alterações nos tecido utilizados na avaliação hitopatológica dos peixes cultivados, (A) tecido branquial de peixe do tratamento AB; (B) tecido renal de peixe do tratamento ET.....	130
Figura 46 – Molinésias, <i>Mollienesia</i> spp. coletados no tratamento abastecido com esgoto doméstico tratado; (A) fêmea madura, e (B) fêmea em recuperação, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	132
Figura 47 - Amostras do peixe ornamental <i>Mollienesia</i> spp. retiradas dos tratamentos experimentais ao final do cultivo, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	133
Figura 48 - Amostras de diferentes linhagens de molinésias, <i>Mollienesia</i> spp., retiradas dos tratamentos experimentais, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	134
Figura 49 - Amostra de molinésia, <i>Poecilia sphenops</i> , de coloração laranja e nadadeira caudal do tipo <i>shortfin</i> , Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	134
Figura 50 - Amostras de molinésias, <i>Mollienesia</i> spp., retiradas dos tratamentos experimentais onde pode ser observada as características ornamentais preservadas, coloração e forma das nadadeiras diferenciadas. Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	135
Figura 51 - Sobreposição dos gráficos de radar que representam os resultados dos indicadores utilizados no Índice de	

Sustentabilidade para Reúso em Aquicultura (ISRA) dos três tratamentos experimentais considerando a Situação 1..... 143

Figura 52 - Sobreposição dos gráficos de radar que representam os resultados dos indicadores utilizados no Índice de Sustentabilidade para Reúso em Aquicultura (ISRA) dos três tratamentos experimentais considerando a Situação 2..... 144

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modalidades de reúso de águas.....	31
Quadro 2 - Perigos envolvidos e grupos de risco afetados pela aquicultura com o uso de esgoto doméstico.....	36
Quadro 3 - Características dos sistemas de produção em aquicultura.....	42
Quadro 4 - Síntese da descrição taxonômica dos molinésias.....	46
Quadro 5 - Os 3Rs e as 5 liberdades que fundamentam a ciência do bem- estar animal (BEA).....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Concentração média do efluente e eficiência média de remoção (%) no sistema de lagoas de estabilização.....	27
Tabela 2 - Diretrizes do Prosab para o uso de esgoto sanitário na piscicultura.....	35
Tabela 3 - Resumo das densidades e produtividades dos sistemas de produção.....	43
Tabela 4 - Parâmetros ambientais utilizados para a avaliação da qualidade da água utilizada no cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., em esgoto doméstico tratado.....	49
Tabela 5 - Composição média, em termos de proteína bruta, extrato etéreo, matéria mineral e energia do alimento natural dos peixes.....	52
Tabela 6 - Parâmetros ambientais utilizados para a avaliação da qualidade da água utilizada no cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., em esgoto doméstico tratado.....	67
Tabela 7 - Caracterização da população estocada no experimento para o cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., utilizando esgoto doméstico tratado.....	70
Tabela 8 - Parâmetros zootécnicos analisados durante o cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., em esgoto doméstico tratado, além das respectivas equações e referências.....	72
Tabela 9 - Possíveis relações entre o coeficiente de alometria ( $\theta$ ) e as proporções de incremento de comprimento e peso.....	73
Tabela 10 - Indicadores de qualidade de água, seus respectivos valores, referências bibliográficas e descrição, que foram aplicados no ISRA.....	78
Tabela 11 - Limites máximos e mínimos e as respectivas justificativas dos indicadores utilizados na composição do ISRA.....	79
Tabela 12 - Fator de normalização dos indicadores de qualidade de água, sobrevivência e indicadores econômicos utilizados nos cálculos do ISRA.....	81

Tabela 13 - Equação de normalização dos parâmetros de qualidade de água, sobrevivência e indicadores econômicos utilizados nos cálculos do ISRA.....	82
Tabela 14 - Classificação de sustentabilidade adotada para avaliação dos resultados do ISRA.....	83
Tabela 15 - Resultados (média $\pm$ desvio padrão), testes estatísticos, nível de significância, e número de amostras dos parâmetros físico-químicos utilizados para a avaliação da qualidade da água do cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	84
Tabela 16 - Gêneros e táxons do fitoplâncton identificado na água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental <i>Mollienesia</i> spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	100
Tabela 17 - Resultados (média $\pm$ desvio padrão) e o nível de significância, do peso médio (g) obtido nas biometrias realizadas durante o cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	112
Tabela 18 - Resultados (média $\pm$ desvio padrão) e o nível de significância, do comprimento total (mm) obtido nas biometrias realizadas durante o cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	113
Tabela 19 - Duração do cultivo (dias), resultados (média $\pm$ desvio padrão) e o nível de significância, dos principais parâmetros zootécnicos obtidos ao final do cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	115
Tabela 20 - Taxas de sobrevivência (%) obtidas nos três tratamentos experimentais onde foi cultivado o peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	121
Tabela 21 - Tamanho das amostras utilizadas, parâmetros da relação peso:comprimento, equações geradas, tipos de crescimento e os resultados (média $\pm$ desvio padrão) dos fatores de condição (K)	

avaliados do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., cultivado em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.....	126
Tabela 22 - Resultados (média $\pm$ desvio padrão) dos índices de alteração das brânquias e rins atribuídos através da avaliação histopatológica dos peixes dos três tratamentos experimentais testados.....	129
Tabela 23- Características de consumo de ração no cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., no tratamento experimental abastecido com água bruta (AB), Aquiraz, Brasil, 2011.....	136
Tabela 24 - Características de consumo e custo da água no cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., nos três tratamentos experimentais testados, considerando as duas situações, Aquiraz, Brasil, 2011.....	138
Tabela 25 - Dados de custos e receitas utilizados na avaliação econômica do cultivo do peixe ornamental molinésia, <i>Mollienesia</i> spp., abastecido com esgoto doméstico tratado, Aquiraz, Brasil, 2011.....	140
Tabela 26 - Resultados dos indicadores utilizados na composição do ISRA, assim como seus respectivos valores para os três tratamentos experimentais, incluindo as duas situações do tratamento Esgoto Diluído.....	142

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB: Água Bruta;

ANOVA: Análise de Variância (*Analysis of Variance*);

AT: Alcalinidade total;

BEA: Bem-Estar Animal;

Bm: Biomassa;

BMPs: Boas práticas de manipulação;

C: Crescimento;

Cagece: Companhia de Água e Esgoto do Ceará;

CD: Crescimento diário;

CE: Condutividade elétrica;

Cogerh: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos;

CO<sub>m³</sub>: Custo operacional por metro cúbico (R\$/m<sup>3</sup>);

COP: Custo operacional parcial (R\$);

CTer: Coliformes termotolerantes;

DAP: Disposição a pagar;

DEHA: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental;

DQO: Demanda química de oxigênio;

DT: Dureza Total;

ED: Esgoto diluído;

ED-S1: Esgoto diluído Situação 1;

ED-S2: Esgoto diluído Situação 2;

ET: Esgoto tratado;

ETE: Estação de tratamento de esgoto ou efluente;

EUA: Estados Unidos da América;

FAO: Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, da sigla em inglês (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*);

FRA: Frequência relativa de aparecimento;

GP: Ganho de peso;

GPD: Ganho de peso diário;

IC: Incidência de custo;

IQA<sub>RP</sub>: Índice de Qualidade de Água para Reúso em Piscicultura;

ISA<sub>RP</sub>: Índice de Sustentabilidade Ambiental para Reúso em Piscicultura;

ISCB: Instituto Superior de Ciências Biomédicas;  
ISRA: Índice de Sustentabilidade para Reúso em Aquicultura;  
 $K_{\text{Fulton}}$ : Fator de condição de Fulton;  
 $K_{\text{alom}}$ : Fator de condição alométrico;  
Labosan: Laboratório de Saneamento;  
LACAR: Laboratório de Carcinicultura;  
MPA: Ministério da Pesca e Aquicultura;  
NAT: Nitrogênio amoniacal total;  
N-NH<sub>3</sub>: Amônia não-ionizada;  
N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>: Nitrito  
N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: Nitrato  
OD: Oxigênio Dissolvido;  
OMS: Organização Mundial da Saúde  
pH: Potencial hidrogeniônico  
P: Produção  
RB: Receita bruta;  
RL<sub>m³</sub>: Receita líquida por metro cúbico;  
RLP: Receita líquida parcial;  
S: Taxa de sobrevivência;  
Sabesp: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo;  
TA: Taxa de arraçoamento;  
TR: Tanque-rede;  
TCE: Taxa de crescimento específico;  
UFC: Universidade Federal do Ceará;  
UE: União Européia;  
UECE: Universidade Estadual do Ceará;  
VPI: Valor parcial do índice;  
WHO: Organização Mundial da Saúde (OMS), da sigla em inglês (*World Health Organization*);  
WLR: Relação peso:comprimento, da sigla em inglês;

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	23
1.1. Objetivo Geral.....	26
1.2. Objetivos Específicos .....	26
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1. Características dos Efluentes de Lagoas de Estabilização.....	27
2.2. Reúso de Água como Ferramenta de Gestão de Recursos Hídricos .....	28
2.1. Modalidades de Reúso .....	29
2.3.1. <i>Reúso em Piscicultura</i> .....	33
2.3.1.1. <i>Relato de Caso – Sustentabilidade Ambiental do Reúso em Piscicultura</i> .....	38
2.4. Piscicultura.....	39
2.4.1. <i>Produção em Piscicultura</i> .....	41
2.4.1.1. <i>Parâmetros de Rendimento Zootécnico</i> .....	43
2.5. Piscicultura Ornamental .....	44
2.5.1. <i>Espécie utilizada – Mollienesia spp.</i> .....	45
2.6. Qualidade de água para piscicultura.....	48
2.7. Comunidade Fitoplanctônica .....	49
2.8. Bem-Estar Animal .....	52
2.8.1. <i>Embasamento Teórico</i> .....	52
2.8.2. <i>Indicadores Quantitativos</i> .....	53
2.8.3. <i>Indicador Qualitativo</i> .....	56
2.8.3.1. <i>Avaliação histopatológica</i> .....	56
2.8.3.2. <i>Manutenção do comportamento</i> .....	57
2.9. Avaliação Econômica .....	57
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	61
3.1. A Pesquisa.....	61
3.2. Área de trabalho .....	61
3.3. Protocolos Experimentais .....	65
3.3.1. <i>Hipóteses Testadas</i> .....	65
3.3.2. <i>Acompanhamento dos Parâmetros de Qualidade de Água</i> .....	66
3.3.3. <i>Avaliação Qualitativa da Comunidade Fitoplanctônica</i> .....	67
3.3.3.1. <i>Amostragem</i> .....	67

3.3.3.2. <i>Identificação da comunidade fitoplantônica</i> .....	68
3.3.4. <i>Povoamento e Biometrias</i> .....	69
3.3.5. <i>Curvas de Crescimento</i> .....	71
3.3.6. <i>Acompanhamento dos Parâmetros de Rendimento Zootécnico</i> .....	71
3.3.7. <i>Avaliação do Bem-Estar Animal</i> .....	72
3.3.7.1. <i>Indicadores Quantitativos – Relação peso:comprimento e fator de condição</i> .....	72
3.3.7.2. <i>Indicadores Qualitativos – Avaliação histopatológica e comportamental</i> .....	74
3.3.8. <i>Avaliação Econômica</i> .....	75
3.3.9. <i>Avaliação da Sustentabilidade</i> .....	77
3.3.9.1. <i>Metodologia de normalização dos indicadores utilizados</i> .....	77
3.3.9.2. <i>Índice de Sustentabilidade para Reúso em Aquicultura (ISRA)</i> .....	82
3.3.10. <i>Análises Estatísticas</i> .....	83
4. <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	84
4.1. <b>Parâmetros Físico-Químicos de Qualidade da Água</b> .....	84
4.1.1. <i>Temperatura</i> .....	85
4.1.2. <i>Oxigênio Dissolvido</i> .....	86
4.1.3. <i>Condutividade Elétrica e Cloreto</i> .....	89
4.1.4. <i>Alcalinidade Total e Dureza Total</i> .....	92
4.1.5. <i>pH e Compostos Nitrogenados</i> .....	94
4.1.6. <i>Demanda Química de Oxigênio</i> .....	98
4.2. <b>Avaliação Qualitativa da Comunidade Fitoplanctônica</b> .....	100
4.3. <b>Acompanhamento das Biometrias e Curvas de Crescimento</b> .....	111
4.3.1. <i>Curva de Crescimento em Peso</i> .....	111
4.3.2. <i>Curva de Crescimento em Comprimento</i> .....	113
4.4. <b>Acompanhamento dos Parâmetros de Rendimento Zootécnico</b> .....	114
4.4.1. <i>Crescimento (mm) e Crescimento Diário (mm dia<sup>-1</sup>)</i> .....	115
4.4.2. <i>Ganho de Peso (g) e Ganho de Peso Diário (g dia<sup>-1</sup>)</i> .....	117
4.4.3. <i>Taxa de Crescimento Específico (% do peso corpóreo dia<sup>-1</sup>)</i> .....	119
4.4.4. <i>Taxa de Sobrevivência (%)</i> .....	121

<b>4.5. Avaliação do Bem-Estar Animal .....</b>	<b>123</b>
<b>4.5.1. Relação Peso:comprimento e Fator de Condição .....</b>	<b>123</b>
<b>4.5.2. Avaliação Histopatológica .....</b>	<b>128</b>
<b>4.5.3. Manutenção do Comportamento Natural - Ocorrência de Reprodução .....</b>	<b>131</b>
<b>4.6. Avaliação das Características Ornamentais dos Peixes Cultivados .....</b>	<b>133</b>
<b>4.7. Avaliação Econômica .....</b>	<b>136</b>
<b>4.8. Avaliação da Sustentabilidade.....</b>	<b>141</b>
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>146</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>149</b>
<b>APÊNDICE A - Avaliação da sustentabilidade ambiental do uso de esgoto doméstico tratado na piscicultura .....</b>	<b>162</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Descargas de esgoto urbano, sem tratamento ou somente com tratamento primário ou secundário (sem remoção de nutrientes), podem provocar sérios problemas ambientais, como a eutrofização (STRAŠHRABA; TUNDISI, 2000).

A gestão integrada dos efluentes de estação de tratamento de esgoto, em que se considere a prática do reúso, constitui uma medida importante para evitar a poluição dos corpos de água por nutrientes, ao mesmo tempo em que proporciona o seu uso em atividades produtivas (MOTA, 2008; MOTA; SPERLING, 2009). Desta forma, leva-se a considerar a o uso de esgoto sanitário (reúso de água) como uma importante ferramenta de gestão dos recursos hídricos.

A respeito disso, a Organização Mundial de Saúde (OMS/WHO) admite que o uso de águas residuárias esteja passando a ser visto por um contexto mais amplo por conta da gestão integrada dos recursos hídricos, especialmente nas regiões áridas e semi-áridas (WHO, 2006).

O reúso de água vem sendo realizado em todo o mundo, onde são lançados efluentes das mais diversas atividades nos cursos e corpos de água, e, a jusante, a mesma é coletada e novamente utilizada. Esta forma de reúso de água é classificada como indireta e não planejada, sendo a mais comum e também a mais perigosa, pois é feita sem qualquer critério técnico e científico, o que expõe os consumidores, trabalhadores e populações residentes das circunvizinhanças aos diversos riscos pertinentes a esta prática.

No reúso em irrigação, hidroponia e piscicultura, além do suprimento de água, o esgoto pode proporcionar o fornecimento dos nutrientes diretamente requeridos pelas plantas e indiretamente aos animais aquáticos (MOTA; SPERLING, 2009). Por esse motivo, o uso de esgoto tratado apresenta boa perspectiva no cultivo de peixes (MOTA; AQUINO; SANTOS, 2007).

Em geral, os sistemas de tratamentos biológicos de águas residuárias em sistemas de lagoas de estabilização produzem efluentes dentro dos padrões

recomendados para aquicultura, não sendo necessárias grandes intervenções para a realização do cultivo. (MOTA; AQUINO; SANTOS, 2007).

Ao se tratar de peixes cultivados utilizando esgoto sanitário, deve-se adotar procedimentos rígidos de higiene ao manipular o pescado produzido, no intuito de evitar a contaminação cruzada do tecido comestível durante o preparo ou mesmo ao comer (WHO, 2006). No entanto, cultivando-se peixes ornamentais, elimina-se a via de contaminação por ingestão do pescado infectado, reduzindo os riscos da atividade.

Com isso, potencializam-se as formas de utilização das águas residuárias nas atividades agropecuárias, promove-se novos emprego e, conseqüentemente, o aumento da renda das comunidades envolvidas, além de otimizar os usos dos recursos hídricos. Desta forma, tem-se uma atividade sustentável, cumprindo-se os requisitos social, econômico e ambiental.

A piscicultura ornamental tem grande importância no mercado internacional da aquicultura. Estima-se que comércio varejista mundial de peixes ornamentais movimente entre 800 milhões a 30 bilhões de dólares por meio do comércio de mais de 350 milhões peixes anualmente, dos quais 80 a 90% são de espécies de água doce (BARTLEY, 2000; HELFMAN *et al.*, 2009 *apud* SAXBY *et al.*, 2010).

O Brasil apresenta um grande potencial para o desenvolvimento do setor de peixes ornamentais como uma importante fonte de renda para população rural e urbana, além de ter excepcional capacidade de geração de emprego para a população de baixa renda (RIBEIRO; LIMA; FERNANDES, 2010).

Segundo Ribeiro; Lima; Fernandes (2010), os peixes ornamentais são comumente associados a peixes pequenos, coloridos, com formas belas e elegantes. Realmente, parte significativa das espécies de peixes ornamentais se encaixa nesta descrição, tais como o kinguio (*Carassius auratus*), o betta (*Betta splendens*) e o guppy (*Poecilia reticulata*), espécies consideradas ícones do aquarismo, com grande popularidade e aceitação por parte de seus praticantes ao redor do mundo.

Na presente pesquisa foram utilizados peixes da Família *Poeciliidae*, mais precisamente do subgênero *Mollienesia*, popularmente conhecidos como molinésias. Estes são filtradores fitoplanctófagos com reconhecida rusticidade entre os aquarofilistas e aqüicultores ornamentais.

São euritérmicos e eurihalinos, resistindo a grandes variações de temperatura e salinidade. Apesar de não serem peixes muito prolíferos, a característica de serem vivíparos facilita a perpetuação da prole, pois os filhotes já nascem com um bom tamanho.

No intuito de simplificar o entendimento do tema da presente pesquisa, no Capítulo 2 são apresentadas as bases teóricas relacionadas com o reúso de água, as características positivas e negativas dos esgotos sanitários para a aplicação em atividades produtivas, o embasamento da piscicultura como uma destas atividades, e o emprego do esgoto tratado como fonte de água e alimento natural na piscicultura, entre outros assuntos relevantes. Informações que sustentarão as metodologias aplicadas e os resultados obtidos.

No Capítulo 3 são expostos os materiais utilizados e as metodologias aplicadas para o desenvolvimento da presente pesquisa. No Capítulo 4 estão expostos os resultados obtidos, divididos por assunto, e as discussões pertinentes a cada um deles. No Capítulo 5 estão as conclusões e as recomendações para as pesquisas futuras, e, terminando este documento, estão expostas as referências bibliográficas nele citadas.

## 1.1. Objetivo Geral

Avaliar a sustentabilidade da utilização de esgotos domésticos tratados na criação do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., observando o desempenho zootécnico, a capacidade de adaptação deste ao meio e o rendimento econômico desta modalidade de cultivo.

## 1.2. Objetivos Específicos

- Verificar a adaptação dos peixes ao meio de cultivo utilizado, esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização.
- Verificar a influência dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água no rendimento do cultivo.
- Avaliar a qualidade do alimento natural presente no meio de cultivo, por meio da identificação da comunidade fitoplanctônica.
- Avaliar, por meio dos resultados zootécnicos, a capacidade dos peixes em retirarem da comunidade planctônica presente no ambiente de cultivo o alimento necessário para promover o seu crescimento.
- Avaliar a condição de bem-estar dos peixes, utilizando a relação peso:comprimento, o fator de condição, a avaliação histopatológica e a manutenção do comportamento natural dos peixes cultivados.
- Verificar a influência dos diferentes tratamentos experimentais nas características ornamentais dos peixes cultivados.
- Comparar o retorno financeiro dos tratamentos experimentais testados por meio de indicadores econômicos.
- Avaliar a sustentabilidade dos tratamentos experimentais testados por meio de índices ambientais e econômicos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Características dos Efluentes de Lagoas de Estabilização

Como o próprio nome diz, o objetivo principal do sistema de lagoas de estabilização é estabilizar, ou seja, transformar em produtos mineralizados o material orgânico presente na água residuária a ser tratada (MOTA; AQUINO; SANTOS, 2007).

O sistema de lagoas de estabilização é classificado como tratamento biológico, pois utiliza a ação de microrganismos para a estabilização da matéria orgânica. Em relação ao mecanismo biológico de tratamento, Mota; Aquino; Santos (2007) explicam que, para atingir a estabilização do material carbonáceo, é utilizada a atividade metabólica dos microrganismos, principalmente algas e bactérias, onde as algas, por meio da fotossíntese, produzem oxigênio utilizando o CO<sub>2</sub> produzido pelas bactérias, as quais oxidam o material orgânico biodegradável, liberando mais CO<sub>2</sub>, reiniciando o processo. Na ausência de oxigênio, as bactérias anaeróbias utilizam o mecanismo de digestão anaeróbia para transformar o material orgânico em biogás.

Na Tabela 1 estão sumarizadas a concentração média e a eficiência média de remoção de alguns parâmetros de qualidade de água dos efluentes de lagoas de estabilização.

Tabela 1 - Concentração média do efluente e eficiência média de remoção (%) no sistema de lagoas de estabilização.

<b>PARÂMETROS</b>	<b>Concentração média</b>	<b>Eficiência média (%)</b>
DBO (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	40 – 70	80 – 85
DQO (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	100 – 180	70 – 83
Sólidos Suspensos (mg L <sup>-1</sup> )	50 – 80	73 – 83
Amônia (mg L <sup>-1</sup> )	10 – 15	50 – 65
Nitrogênio total (mg L <sup>-1</sup> )	15 – 20	50 – 65
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	< 4,0	< 50
Coliformes termotolerantes (NMP 100mL <sup>-1</sup> )	10 <sup>2</sup> - 10 <sup>4</sup>	3 – 5 unid log.
Ovos de helmintos (ovos L <sup>-1</sup> )	< 1	Ausência

DBO: Demanda bioquímica de oxigênio; DQO: Demanda química de Oxigênio.

Fonte: Adaptado de Sperling (2005).

## 2.2. Reúso de Água como Ferramenta de Gestão de Recursos Hídricos

Na busca do desenvolvimento de atividades que estejam de acordo com os objetivos da sustentabilidade, em que estas devem ser economicamente viáveis, ecologicamente corretas e socialmente justas, é necessário considerar a prática do reúso de águas como uma das boas opções para amenizar a problemática da oferta hídrica (SANTOS *et al.*, 2009a) deixando disponível água de melhor qualidade para os fins que assim a necessitem.

A gestão integrada dos efluentes de estações de tratamento de esgoto, em que se considere a prática do reúso, constitui uma medida importante para evitar a poluição dos corpos de água por nutrientes, ao mesmo tempo em que proporciona o seu uso em atividades produtivas (MOTA, 2008; MOTA; SPERLING, 2009).

Nos dias atuais, sabe-se que a problemática da escassez de água no planeta não está relacionada com a quantidade de água existente, mas, sim, com a desigualdade na distribuição nas diversas regiões e com a sua qualidade (SANTOS *et al.*, 2011).

Estas preocupações levam a dirigir a atenção para as regiões áridas e semi-áridas do planeta. Em relação à escassez de água nestas regiões, Hespanhol (2006) cita que esta se tornou um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola, levando os planejadores e entidades gestoras de recursos hídricos a procurarem novas fontes para complementar a pequena disponibilidade hídrica.

Ao se tratar da região semi-árida brasileira, tem-se o modelo de reservatórios artificiais de superfície como principal acumulador de água. Com a gestão inteligente deste recurso é capaz de se amenizar significativamente a problemática da escassez. No entanto, é importante cuidar da qualidade do recurso água.

Nesses locais, a pressão sobre os recursos hídricos é bastante elevada, tanto do ponto de vista da gestão dos usos múltiplos, onde constantemente é avaliada a quantidade de água que será destinada a cada uso, como da

manutenção da qualidade, ponderando o potencial dos impactos dos usos nos reservatórios, considerando que a água destinada a um respectivo uso poderá retornar ao corpo de água como um efluente impactante.

A respeito disso, a Organização Mundial de Saúde (WHO, da sigla em inglês) admite que o uso de águas residuárias está sendo vista como um contexto mais amplo por conta da gestão integrada dos recursos hídricos, especialmente nas regiões áridas e semi-áridas (WHO, 2006).

A WHO aponta uma importante característica das águas residuárias que a destaca como um recurso hídrico confiável, que é a manutenção de vazões praticamente constantes em todo o ano, inclusive durante a estação seca. E completa relatando que: o uso de águas residuárias já realiza um importante papel na suplementação da oferta hídrica em muitas comunidades de regiões áridas e semi-áridas ao redor do mundo (WHO, 2006).

A partir das afirmativas acima expostas pode-se verificar que a prática do reúso de água auxilia tanto no aumento da oferta como na conservação dos recursos hídricos. Ao avaliarem este enfoque, Santos *et al.* (2011) constataram que o uso de efluentes domésticos, ou reúso de água, pode ser considerado uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos.

## **2.1. Modalidades de Reúso**

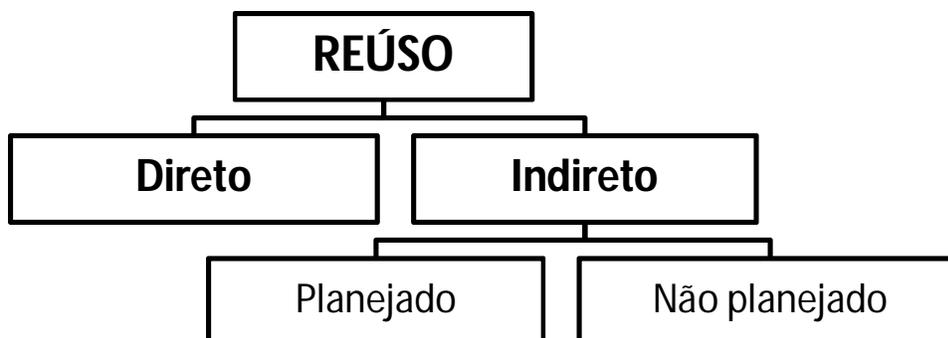
Existem diversas maneiras de se realizar o reúso de água. Neste item serão citadas algumas das principais formas que esta prática pode ser aplicada, pretendendo-se demonstrar as diversas possibilidades que o reúso oferece.

Mota; Aquino; Santos (2007) explicam que o reúso de água pode ser classificado como direto e indireto, conforme descrito abaixo:

- Direto → quando os efluentes, após tratamento, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local de reúso, o qual pode ser interno (reciclagem) ou externo ao local de sua produção;
- Indireto → pode ser feito de forma planejada ou não;
  - a. Planejado → quando os efluentes, após tratamento, são descarregados de forma planejada nos corpos de água superficiais ou subterrâneos, para que sejam utilizados a jusante em sua forma diluída e de maneira controlada;
  - b. Não planejado → quando os efluentes, tratados ou não, são descartados nos corpos de água superficiais ou subterrâneos, direta ou indiretamente, e após diluição são novamente utilizados de maneira não intencional.

Na Figura 1 indicam-se as formas de reúso de água, conforme anteriormente descrito.

Figura 1 - Formas de reúso de água.



Fonte: Autor (2012)

Desta forma, é possível concluir que o reúso de água acontece frequentemente, nas mais diversas situações, ao redor de todo o mundo, pois sempre em algum lugar está se lançando o efluente de uma atividade em um curso de água, e a jusante deste ponto a água é coleta e novamente usada em outra atividade.

Percebe-se, então, que a forma de reúso classificada como indireta e não planejada é a mais comum e também a mais perigosa, pois é feita sem qualquer

critério técnico e científico, expondo os consumidores, trabalhadores e população em geral aos diversos riscos pertinentes a esta atividade.

As diversas pesquisas realizadas enfocando o reúso de água tiveram como objetivo tentar viabilizar, por meio de embasamento técnico e científico, o reúso indireto planejado e o reúso direto, de que trata o presente estudo, apresentando as possibilidades para o seu avanço e os múltiplos benefícios que esta prática pode trazer para as gerações vindouras.

No Quadro 01 indicam-se as diversas formas de reúso de água, divididas conforme os tipos de uso que mais comumente têm sido aplicados.

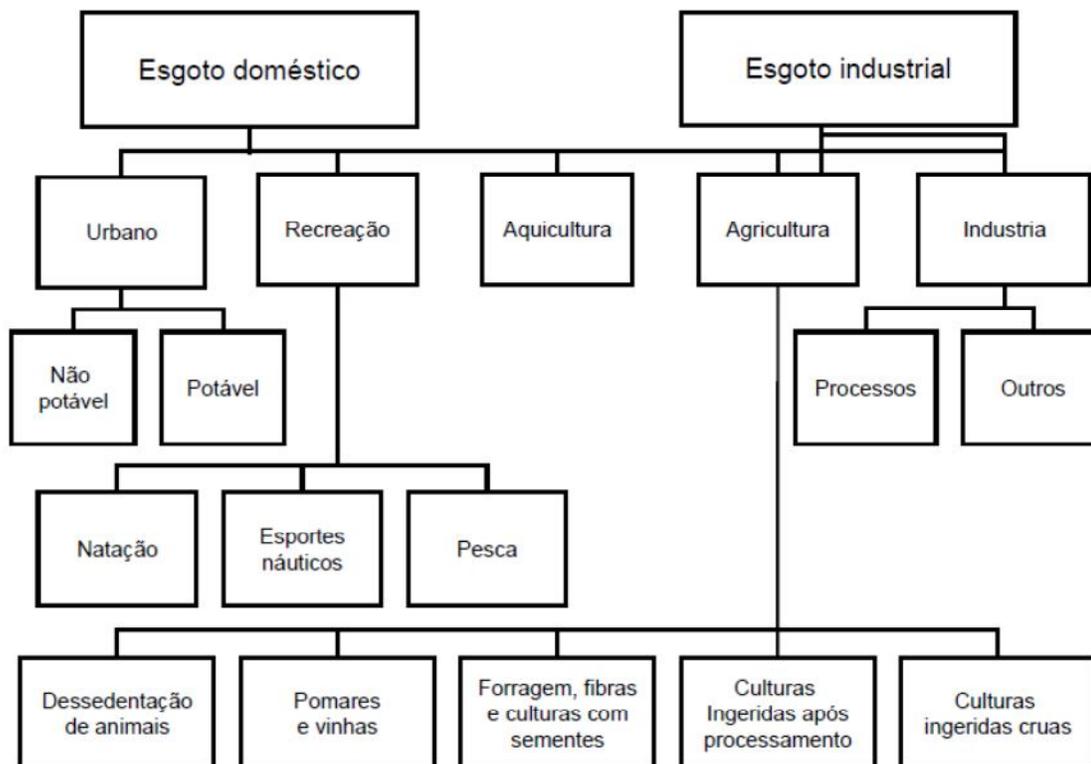
Quadro 1 - Modalidades de reúso de águas.

<b>TIPO</b>	<b>USOS</b>
<b>URBANO</b>	Fins potáveis Irrigação de parques e jardins públicos Irrigação de jardins em edificações Descarga de aparelhos sanitários Reserva para controle de incêndios Decoração aquática: espelhos de água e chafarizes Lavagens de logradouros públicos Lavagens de equipamentos de transporte público Controle de poeira Construção civil: preparo de concreto e compactação do solo Desobstrução de tubulações
<b>INDUSTRIAL</b>	Irrigação de jardins Lavagem de peças e pisos Água de caldeiras Torres de resfriamento Dentro do próprio processo industrial
<b>REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES</b>	Aumento da vazão de cursos de água Manutenção de vazões ecológicas
<b>RECARGA DE AQUÍFEROS</b>	Aumento da disponibilidade de água subterrânea Prevenção de subsidência do solo Tratamento adicional de esgotos Controle da intrusão salina
<b>RECREAÇÃO</b>	Esportes aquáticos Pesca
<b>AGROPECUÁRIA</b>	Irrigação de culturas (alimentícias ou não) Dessedentação de animais Hidroponia Produção de forragens para animais Cultivo de florestas plantadas/áreas de reflorestamento
<b>AQUICULTURA</b>	Cultivo de peixes (piscicultura) Cultivo de plantas aquáticas (macrófitas aquáticas a microalgas)

Fonte: Adaptado de Mota; Aquino; Santos (2007).

Na Figura 2 observam-se as diversas formas de reúso de água a partir da aplicação dos esgotos domésticos e industriais em várias atividades.

Figura 2 - Diversas atividades em que podem ser utilizados os esgotos domésticos e industriais.



Fonte: Adaptado de Braga *et al.* (2005).

A prática de reúso mais utilizada no mundo tem sido em irrigação, já sendo adotada em vários países, podendo-se dar ênfase aos dados citados por Tsutiya (2001), o qual relata que somente na China e no México são irrigados com esgoto 1.330.000 ha e 250.000 ha, respectivamente.

O reúso de águas em indústrias tem sido cada vez mais praticado, inclusive no Brasil. Em alguns casos, as indústrias tratam seus esgotos e os aproveitam nas próprias unidades, como é o caso de algumas indústrias têxteis e de papel (MOTA, 2006).

No reúso em irrigação, hidroponia e piscicultura, além do suprimento de água, o esgoto pode proporcionar o fornecimento dos nutrientes necessários às plantas e aos animais aquáticos (MOTA; SPERLING, 2009).

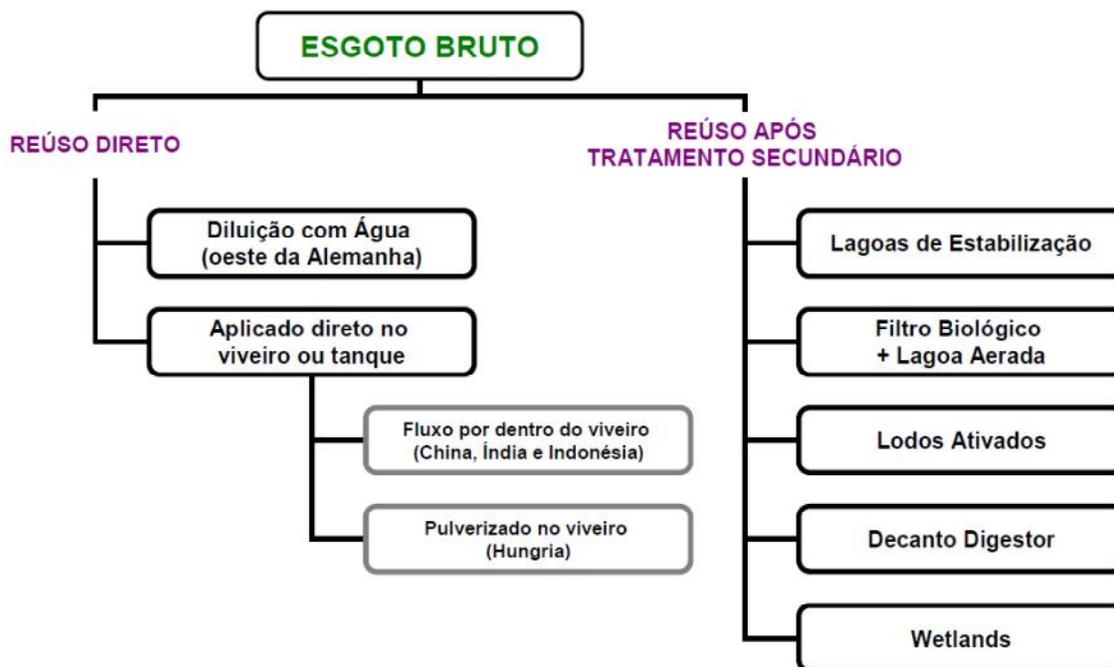
### 2.3.1. Reúso em Piscicultura

Mota; Aquino; Santos (2007) citam que o uso de esgotos tratados apresenta boa perspectiva no cultivo de peixes (piscicultura), para o qual a literatura indica as seguintes formas:

- Adição de esgoto (ou excreta) aos tanques piscícolas (diluição de cerca de 100 a 150 vezes).
- Cultivo de peixes diretamente em lagoas de estabilização (maturação)
- Cultivo de peixes em tanques-rede colocados em lagoas de estabilização.
- Tanques de cultivo de peixes utilizando efluentes de estações de tratamento.

Na Figura 3 é possível visualizar diferentes sistemas para se utilizar esgoto em aquicultura, além de exemplos de alguns países onde as técnicas foram aplicadas no intuito de condicionar a água de reúso para as exigências da atividade.

Figura 3 - Diferentes sistemas para o uso do esgoto em aquicultura.

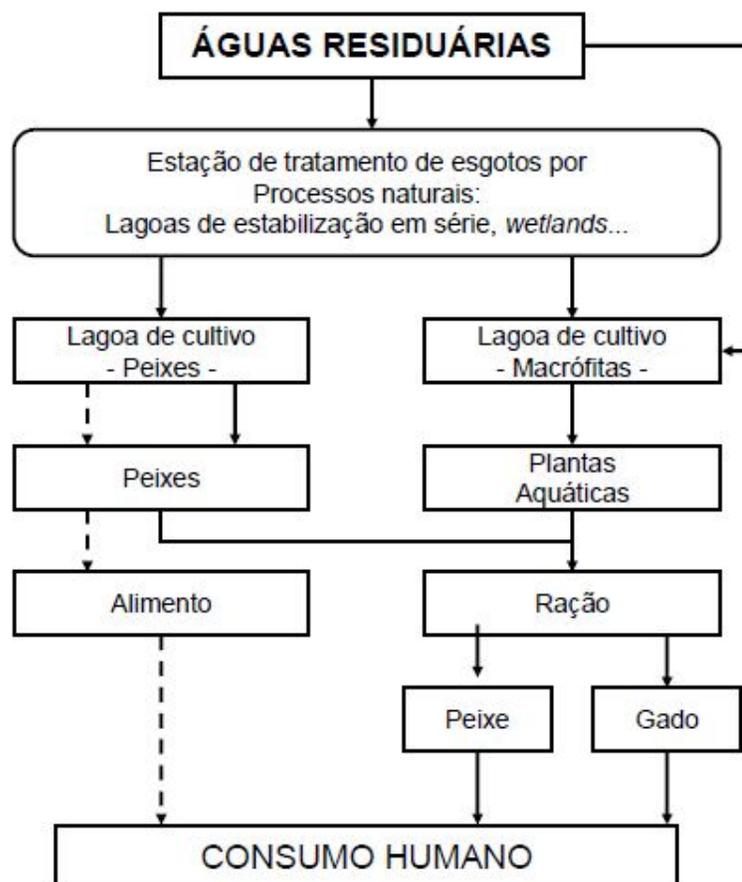


Fonte: Adaptado de Edwards (1992).

De maneira geral, os sistemas de tratamentos biológicos aeróbios podem produzir efluentes dentro das condições exigidas para aquicultura, não sendo necessárias grandes intervenções para a realização do cultivo. É válido salientar que os sistemas de lagoas de estabilização em série com mais de três lagoas, em condições normais de funcionamento, geralmente produzem efluentes de boa qualidade para o uso em aquicultura.

Na Figura 4 observa-se um organograma que exemplifica de forma detalhada o ciclo de reúso da água, que vai desde a entrada da água residuária na estação de tratamento, passando paralelamente por duas modalidades de aquicultura (cultivo de peixes e macrófitas), demonstrando diferentes possibilidades até chegar ao consumo humano.

Figura 4 - Estratégia de tratamento e uso de água residuária em aquicultura.



Fonte: Adaptado de Felizatto (2000).

Observação: Setas com risco contínuo indicam caminho preferencial.

Esgoto tratado em nível primário e secundário tem sido utilizado com sucesso na piscicultura em diversos experimentos ao longo de anos (BALASUBRAMANIAN; PAPPATHI; RAJ, 1995; HOSETTI; FROST, 1995; GHOSH; FRIJNSB; LETTINGA, 1999; GHOSH, 2004; KHALIL; HUSSEIN, 2008; PHAN-VAN; ROUSSEAU; DE PAUW, 2008; SANTOS *et al.*, 2009a; SANTOS *et al.*, 2009b).

Segundo Feachem *et al.* (1983) *apud* Edwards (1992), os três principais problemas relacionados ao uso de esgoto na aquicultura são:

1. transmissão passiva dos patógenos pelo peixe contaminado; deve-se considerar que esta pode ocorrer por ingestão ou manipulação;
2. transmissão de helmintos em que os peixes são hospedeiros intermediários;
3. transmissão através de outros organismos da fauna aquática, sendo estes os hospedeiros intermediários.

Sensíveis a esta problemática, organizações, entidades e programas de pesquisa ao redor do mundo criaram diretrizes para tentar ordenar o uso dos esgotos sanitários nas atividades produtivas. Como exemplo destas diretrizes, podem-se citar os valores propostos pelo Prosab para o uso de esgoto sanitário na aquicultura, os quais estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Diretrizes do Prosab para o uso de esgoto sanitário na piscicultura.

Local da Amostragem	CTer 100 mL <sup>-1</sup> (1)	Ovos de helmintos L <sup>-1</sup>	
		Nematóides humanos (2)	Trematóides
Afluente ao tanque de piscicultura	$\leq 1 \times 10^4$	$\leq 1$	ND
No tanque de piscicultura	$\leq 1 \times 10^3$	$\leq 1$	ND

(1) Coliformes termotolerantes, média geométrica; preferencialmente, pode-se determinar *E. coli*. (2) média aritmética. (ND) Não detectável.

Fonte: Adaptado de Florêncio *et al.* (2006).

Existem poucos dados sobre a transferência passiva de vírus, cistos de protozoários, e ovos de helmintos transmitidos por peixes, mas deve-se supor que eles podem ser transportados e, portanto, podem infectar os manipuladores e os consumidores do peixe (FEACHEM *et al.*, 1983 *apud* EDWARDS, 1992).

A Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006) aponta alguns perigos e os principais grupos de riscos envolvidos com a atividade da aquicultura utilizando esgoto sanitário, conforme pode ser visto no Quadro 2.

Quadro 2 - Perigos envolvidos e grupos de risco afetados pela aquicultura com o uso de esgoto doméstico tratado.

PERIGOS	GRUPOS DE RISCO
Organismos patogênicos de origem fecal	Consumidor <sup>1</sup> e trabalhador <sup>2</sup>
Trematóides	Consumidor
Esquistossomose	Consumidor <sup>1</sup> e trabalhador <sup>2</sup>
Substâncias químicas	Consumidor
Doenças de pele	Consumidor <sup>1</sup> e trabalhador <sup>2</sup>
Doenças relacionadas a vetores	Consumidor <sup>1</sup> e trabalhador <sup>2</sup>

(1) Inclui os consumidores e pessoas envolvidas na comercialização e processamento do pescado (manipuladores); (2) Trabalhadores com contato direto com a água de cultivo e peixes.

Fonte: WHO (2006).

Observa-se que todos os perigos relacionados pela Organização Mundial de Saúde (Quadro 2) envolvem os consumidores do tecido comestível do pescado, porém, ao cultivar organismos aquáticos que não serão utilizados na alimentação humana, há uma redução significativa dos riscos de contaminação a partir da aquicultura utilizando esgoto doméstico. Por exemplo, ao cultivar peixes ornamentais é eliminada a via de contaminação pela ingestão de pescado infectado.

Ressalta-se a possível contaminação do trabalhador via contato físico direto com o pescado ou outros vetores presentes no meio aquático. No entanto, esta via pode ser significativamente reduzida, ou até mesmo eliminada, com a implementação das boas práticas de manipulação (BPMs), que consistem em cuidados simples aplicados nos trabalhos de rotina.

Por meio de uma análise crítica dos organogramas propostos pela literatura especializada, inclusive alguns anteriormente expostos, observa-se que a potencialidade dos cultivos em aquicultura utilizando águas residuárias vai muito além do que tem sido demonstrado.

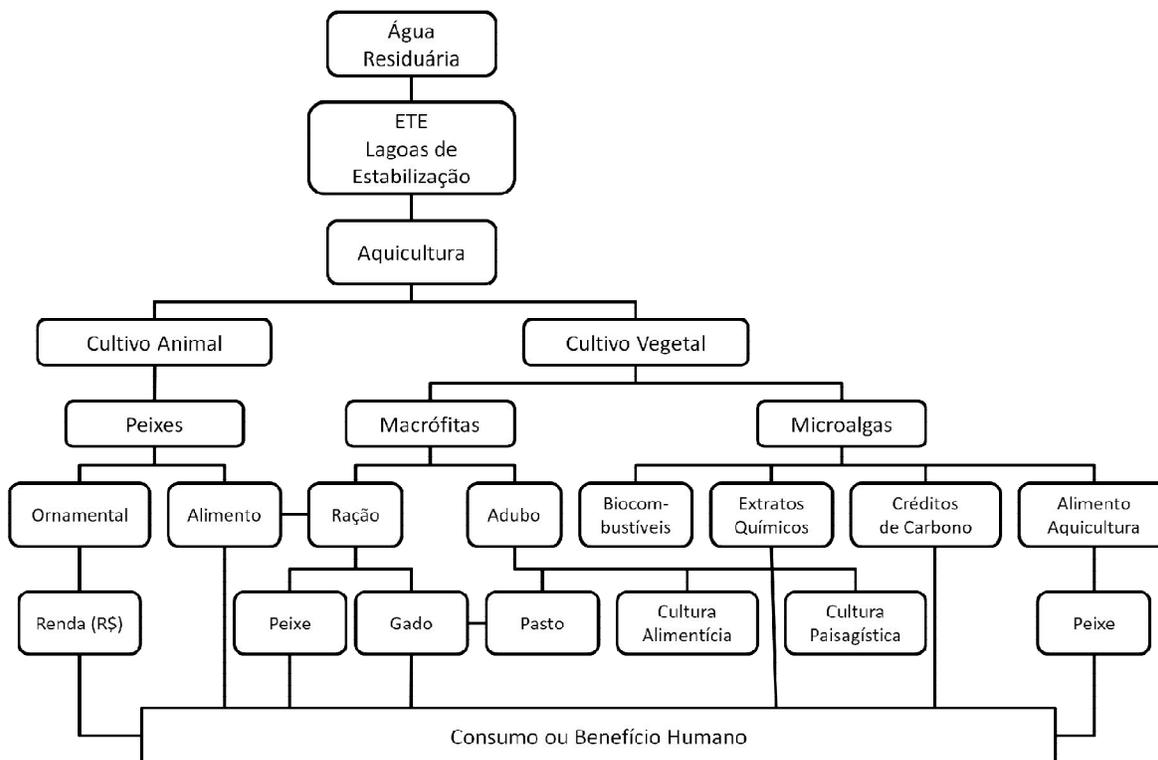
Nas pesquisas com reúso em atividades agropecuárias, tem-se focado a produção de alimento, no intuito de suprir as carências nutricionais das populações rurais, principalmente na região semi-árida. Podem ser citados os experimentos na produção de frutas, como melancia e mamão, entre outras; legumes, como feijão; outras hortaliças em sistema de reúso em hidroponia; e o cultivo de peixes, como as carpas e tilápias, comumente utilizadas para alimentação.

No entanto, as potencialidades vão além, sendo válido citar o sucesso dos cultivos de mamona e girassol para a produção de biodiesel, e de cana-de-açúcar para a produção de etanol, além dos cultivos de diversas espécies de flores.

A base deste tipo de pesquisa está na necessidade de aumentar a renda do homem do campo, proporcionando-lhes a possibilidade de adquirir os produtos necessários para sua sobrevivência dignamente. Paralelamente, está a idéia de fixar o homem no campo, contribuindo, assim, com a função social que as atividades produtivas devem cumprir em busca da sustentabilidade.

Na Figura 5 pode ser observado um organograma que inclui o cultivo de peixe ornamental nas formas de uso de água residuária na aquicultura, além de alternativas que ainda não haviam sido levantadas ou tampouco exploradas.

Figura 05 - Organograma dos sistemas de uso de águas residuárias na aquicultura incluindo a piscicultura ornamental e novas alternativas.



Fonte: Autor (2011).

Além das potencialidades citadas, outra importante questão levantada pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006) é que a utilização de águas residuárias e excretas na aquicultura deve receber mais importância na gestão dos

recursos hídricos, porque permite as comunidades disponibilizar os recursos hídricos de melhor qualidade (por exemplo, águas subterrâneas ou superficiais não contaminadas) para dessedentação humana.

A mesma Organização também considera o reúso de água uma forma de promover o saneamento, já que agrega valor ao tratamento de esgotos (WHO, 2006).

#### 2.3.1.1. *Relato de Caso – Sustentabilidade Ambiental do Reúso em Piscicultura*

Em estudo recentemente publicado por Santos *et al.* (2011) intitulado: “Avaliação da sustentabilidade ambiental do uso de esgoto doméstico tratado na piscicultura” (Apêndice A); comparou-se o cultivo convencional de tilápias, utilizando água bruta no abastecimento dos tanques de cultivo, com duas outras modalidades, onde os tanques foram abastecidos com esgoto doméstico tratado em um sistema de lagoas de estabilização (água de reúso), sendo que em um foi adicionada aeração mecânica suplementar e no outro não.

Os autores utilizaram três diferentes mecanismos para comparar a sustentabilidade ambiental das três modalidades testadas. Foram propostos dois índices: Índice de Qualidade de Água para Reúso em Piscicultura (IQA<sub>RP</sub>) e Índice de Sustentabilidade Ambiental para Reúso em Piscicultura (ISA<sub>RP</sub>); no primeiro, utilizaram-se seis indicadores de qualidade de água em sua composição; no segundo, além destes, acrescentou-se um indicador de produtividade. Para complementar a avaliação, os pesquisadores calcularam a entropia do sistema, baseando-se em quatro indicadores de qualidade de água.

Como resultado, observou-se que o sistema de piscicultura convencional causou efeito degradante na qualidade da água utilizada no abastecimento dos tanques de cultivo, o que já era esperado, pois se trata de uma atividade produtiva que, como qualquer outra, causa algum nível de impacto ambiental.

No entanto, neste mesmo estudo o cultivo de tilápias não alterou a qualidade do esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização utilizado para abastecer os

tanques de cultivo, e no tratamento experimental em que foi aplicada aeração mecânica a qualidade de água de cultivo (esgoto tratado) até melhorou.

Assim, uma importante contribuição do citado experimento é que o abastecimento dos viveiros de cultivo em aquicultura com esgoto doméstico tratado não é só uma possibilidade, é uma alternativa viável, tornando esta uma atividade com maior sustentabilidade ambiental quando comparada à forma de cultivo convencional.

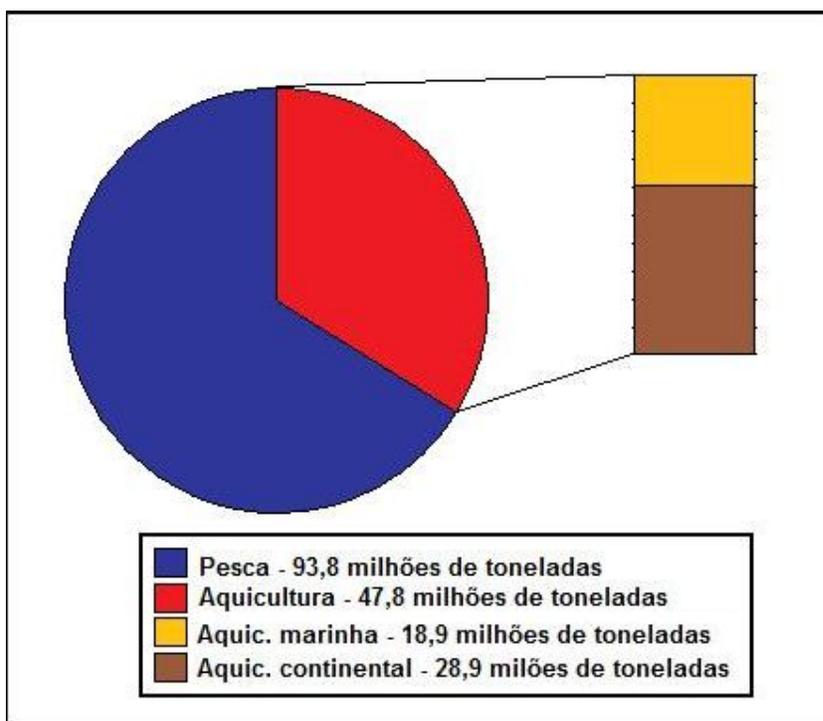
#### **2.4. Piscicultura**

Nas bibliografias especializadas existem diversas definições para a aquicultura. Dentre elas, uma bem simplificada foi dada por Stickney (2005), onde diz que a aquicultura é a criação de organismos aquáticos sob condições controladas ou semi-controlados.

Segundo Santos (2008), a aquicultura recebe diferentes nomenclaturas, dependendo do organismo que se está cultivando. Piscicultura se refere à atividade de criação de peixes, podendo variar entre a piscicultura marinha, que é aquela realizada com espécies marinhas e em ambientes com água salgada ou salobra, e a piscicultura continental, que é aquela realizada em águas interiores e com espécies de água doce.

Segundo dados da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*), em 2005 a produção total de pescado mundial foi de aproximadamente 141,6 milhões de toneladas, sendo 93,8 milhões de toneladas oriundas da pesca exploratória e 47,8 milhões da aquicultura. Destes, 28,9 milhões de toneladas foram da aquicultura continental e os 18,9 milhões de toneladas restantes da aquicultura marinha (FAO, 2007). Estes dados estão representados na Figura 6.

Figura 6 - Dados de produção de pescado no mundo relacionando as participações da pesca e aquicultura, continental e marinha.



Fonte: Adaptado de FAO (2007).

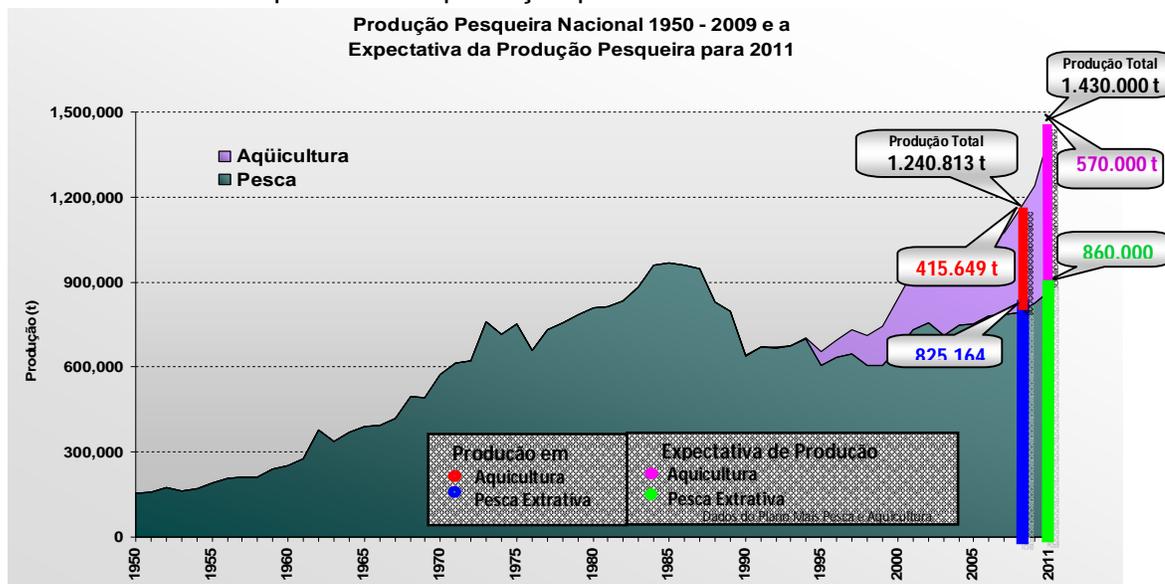
Na estatística publicada no anuário da FAO de 2008, a produção mundial de peixes de água doce oriunda da aquicultura deste mesmo ano foi de 28.750.512,0 toneladas, o que movimentou algo em torno de US\$ 40.515.739,0. Enquanto que a produção de peixes de água doce capturados foi de apenas 8,9 milhões de toneladas (FAO, 2008).

Os dados mostram a importância da aquicultura no fornecimento de pescado de água doce em nível mundial, sendo esta atividade responsável por aproximadamente 75% de todo o peixe de água doce produzido no mundo.

Segundo o Ministério da Pesca e Aquicultura (MPA), no ano de 2009, a produção total de pescado do Brasil ficou na ordem de 1,25 milhão de toneladas, das quais aproximadamente 415 mil toneladas foram oriundas da aquicultura (33,2%). Deste montante, a piscicultura produziu 337 mil toneladas, equivalendo a aproximadamente 26,9% do total de pescado produzido no país e 81,2% do produzido pela aquicultura nacional (BRASIL, 2010).

Na Figura 7 é possível visualizar os dados referentes à evolução da produção pesqueira total, com as respectivas parcelas de participação da pesca extrativa e aquicultura no montante, de 1950 a 2009, e ainda a projeção para 2011 (todos os valores dados em toneladas). É válido salientar a tardia participação, porém significativa, da aquicultura na produção de pescado nacional.

Figura 7 - Produção total (t) da pesca extrativa e da aquicultura brasileira no período de 1950 à 2009 e expectativa de produção para 2011.



Fonte: Monteiro (2011) adaptado de MPA (2010)

#### 2.4.1. Produção em Piscicultura

Como qualquer atividade de cultivo, a piscicultura tem como objetivo conseguir a máxima produção de peixes com o mínimo de despesa possível, para com isso alcançar a maior lucratividade (BALDISSEROTO, 2009). Para que esse objetivo seja alcançado é necessário que haja a conjunção de diversos fatores como:

- ✓ Exigências da espécie;
- ✓ Condições ambientais locais;
- ✓ Qualidade e quantidade de água disponível;
- ✓ Características do mercado (fornecedor e consumidor).

É necessário realizar uma análise crítica destes fatores para escolher qual o sistema de produção mais indicado para as condições ambientais, geográficas e econômicas que se tem disponível e que tecnicamente pode ser aplicado à espécie que se deseja cultivar.

No Quadro 3 estão descritas as principais características dos sistemas de produção mais utilizados em aquicultura. Apesar dos autores terem realizado essas proposições baseados no cultivo de tilápias (tilapicultura), estes podem ser satisfatoriamente estendidos para as demais espécies, considerando as peculiaridades pertinentes.

Quadro 3 - Características dos sistemas de produção em aquicultura.

Sistema	Características
Extensivo	Aquele em que a intervenção humana é praticamente inexistente, e geralmente limita-se a simples estocagem de 500 a 1000 alevinos $\text{ha}^{-1}$ , sem qualquer manejo de fertilização do corpo d'água ou alimentação dos animais. A alimentação dos peixes é baseada na produtividade natural do corpo d'água. As produtividades variam de 150 a 500 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ , e as safras duram de 8 a 12 meses. Existe também o sistema extensivo em que a intervenção humana é limitada, e a estocagem é de 1.000 a 5.000 alevinos $\text{ha}^{-1}$ e há um fornecimento de uma ou mais fontes de matéria orgânica (esterco, restos de lavoura, farelos, ou rações desbalanceadas com menos de 28% de proteína bruta - PB). As produtividades variam de 500 a 2.500 $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ . As safras duram de 8 a 12 meses.
Semi-intensivo	A intervenção humana nesta modalidade de cultivo de organismos aquáticos é maior que na anterior; a estocagem é de 5.000 a 25.000 alevinos $\text{ha}^{-1}$ , e a adição de fertilizantes químicos e adubos ocorre em quantidades maiores, visando principalmente, promover a produtividade natural. Os viveiros têm água de coloração esverdeada, porém, a principal fonte de alimento são as formulações peletizadas, fareladas ou umedecidas, quase sempre desbalanceadas (de 20 a 28% PB), sendo oferecida a uma taxa de 30 a 50 $\text{kg ha}^{-1} \text{dia}^{-1}$ . Já são necessárias análises para o acompanhamento da qualidade da água, e há trocas d'água diárias a uma taxa de 5 a 10% do volume total. As produtividades obtidas variam de 2.500 a 12.500 $\text{kg ha}^{-1} \text{safra}^{-1}$ , com safras que duram de quatro a oito meses.
Intensivo	A intervenção humana é decisiva. As taxas de estocagem são da ordem de 25.000 a 100.000 alevinos $\text{ha}^{-1}$ , as águas são geralmente verdes, porém a adubação é somente química e obtida por meio da mineralização das fezes dos peixes. A principal fonte de alimento é ração peletizada, farelada ou umedecida, balanceada, com 32% de PB, oferecida pelo menos 3 vezes ao dia. A utilização de aeração mecânica a uma taxa de 2 a 4 CV $\text{ha}^{-1}$ é praticamente obrigatória, principalmente durante a madrugada. As trocas d'água são de 10 a 35% do volume total $\text{dia}^{-1}$ . As produtividades variam de 12.500 a 50.000 $\text{kg ha}^{-1} \text{safra}^{-1}$ , com safras que duram de três a seis meses.
Superintensivo	Compõe um conjunto de esquemas de produção quase sempre em ambientes de águas claras, transparentes, podendo ser subdividido em diversas modalidades, de acordo com suas principais estruturas físicas: estufa-tanques em "v", <i>raceways</i> , canais de irrigação, recirculação, aquaponia e gaiolas flutuantes ou tanques-rede. As densidades de cultivo e produtividades variam bastante de uma modalidade para outra, no entanto, todas são de alta produtividade (até 300 $\text{kg m}^{-3}$ ); as durações de safra também apresentam variações. Possuem grande dependência de elevada qualidade de água, exigindo monitoramento constante, e dependência total de ração balanceada de alta qualidade.

Fonte: Mota; Sperling (2009) adaptado de Zimmermann; Fitzsimmons (2004)

Na Tabela 3 estão expostos os tipos de sistemas de produção anteriormente descritos, as densidades de estocagens propostas e respectivas produtividades que podem ser alcançadas em cada um deles.

Tabela 3 - Resumo das densidades e produtividades dos sistemas de produção.

<b>Sistemas de produção</b>	<b>Densidade Populacional</b>	<b>Produtividade</b>
Extensivo	500-1000 alevinos ha <sup>-1</sup>	150-500 kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
Extensivo/semi-intensivo	1.000-5.000 alevinos ha <sup>-1</sup>	500-2.500 kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>
Semi-intensivo	5.000-25.000 alevinos ha <sup>-1</sup>	2.500-12.500 kg ha <sup>-1</sup> safra <sup>-1</sup>
Intensivo	25.000-100.000 alevinos ha <sup>-1</sup>	12.500-50.000 kg ha <sup>-1</sup> safra <sup>-1</sup>
Superintensivo	10-600 m <sup>-3</sup>	5-300 kg m <sup>-3</sup> safra <sup>-1</sup>

Fonte: Santos (2008) adaptado de Zimmermann e Fitzsimmons (2004).

#### 2.4.1.1. *Parâmetros de Rendimento Zootécnico*

Para o acompanhamento do desempenho dos animais durante o cultivo, devem ser realizadas medições constantes do tamanho e peso dos organismos cultivados (OSTRENSKY; BOEGER, 1998). Por meio destes valores é possível obter diversas informações sobre o desenvolvimento dos animais cultivados, assim como indiretamente indicam se as condições de cultivo aplicadas estão adequadas para a espécie cultivada.

As informações de desenvolvimento do cultivo são dadas pelos parâmetros (ou indicadores) de rendimento zootécnico. Dentre os diversos existentes, são citados a seguir os seis parâmetros avaliados no presente estudo:

- I. Ganho de peso (GP) → com os valores de GP é possível acompanhar a incorporação de biomassa do animal em um determinado período; os valores podem ser obtidos em períodos determinados de tempo durante o cultivo, para avaliação do aumento ou diminuição da taxa de incorporação de biomassa no decorrer do cultivo;
- II. Ganho de peso diário (GPD) → semelhante ao GP; no entanto, para a melhor avaliação dos dados, este valor é dividido pelo número de dias do período utilizado na avaliação;
- III. Taxa de crescimento específico diário (TCE) → também é um dado de avaliação de incremento de biomassa do animal; este indicador expressa o GP

em percentual de incremento diário. Parâmetro facilmente aplicado para verificar se há redução ou aumento de incremento de massa corporal dos peixes entre períodos;

- IV. Crescimento em comprimento (C) → com os valores de C é possível acompanhar o aumento no tamanho dos peixes em um determinado período de tempo. Assim como para o GP, os valores podem ser obtidos dentro de períodos determinados de tempo, para a avaliação do aumento ou diminuição do crescimento no decorrer do cultivo;
- V. Crescimento diário (CD) → semelhante ao C; no entanto, para a melhor avaliação dos dados, este valor é dividido pelo número de dias do período utilizado na avaliação;
- VI. Taxa de Sobrevivência (S) → é a representação percentual do número de peixes que sobreviveram ao final do período experimental em relação a população inicial.

No item 3.3.6. são expostas as fórmulas de cada um dos parâmetros de rendimento zootécnicos utilizados, assim como as respectivas referências bibliográficas consultadas.

## **2.5. Piscicultura Ornamental**

Os maiores mercados para peixes ornamentais são os países da União Européia (UE) e os Estados Unidos (EUA), sendo este último o maior importador de peixes ornamentais do mundo (LIVENGOOD; CHAPMAN, 2007).

Devido ao aumento da demanda de peixes, principalmente pelos aquaristas de países desenvolvidos como EUA, Japão e da UE, originou-se a piscicultura ornamental. Essa modalidade de aquicultura teve um grande crescimento na década de 90, cerca de 10% ao ano, de 1991 até 1996 (FISHSTAT PLUS, 2008 *apud* RIBEIRO; LIMA; FERNANDES, 2010).

Em escala mundial, a maior parte da indústria aquícola é dedicada à produção de alimentos. No entanto, para alguns países a produção de peixes ornamentais é de fundamental importância, como é o caso de Singapura, que responde por 40% das exportações (TLUSTY, 2002).

Nos Estados Unidos, a produção de peixes ornamentais é o quarto maior setor da aquicultura, ficando atrás apenas dos cultivos de bagre do canal, truta e salmão. Mesmo sendo um setor importante, representa apenas 7% do total da produção da aquicultura norte americana (TLUSTY, 2002).

Estima-se que o comércio varejista mundial de peixes ornamentais movimenta entre 800 milhões a 30 bilhões de dólares americanos por meio do comércio de mais de 350 milhões peixes anualmente, dos quais 80 a 90% são de espécies de água doce (BARTLEY, 2000; HELFMAN *et al.*, 2009 *apud* SAXBY *et al.*, 2010).

O Brasil apresenta um grande potencial para o desenvolvimento do setor de peixes ornamentais como uma importante fonte de renda para população rural e urbana, pois este tem excepcional capacidade de geração de emprego para a população de baixa renda (RIBEIRO; LIMA; FERNANDES, 2010).

### **2.5.1. Espécie utilizada – *Mollienesia* spp.**

Os ciprinodontiformes da família *Poeciliidae* são endêmicos do novo mundo (ROSEN; BAILEY, 1963 *apud* MEREDITH *et al.*, 2011). Esta família é composta por aproximadamente 220 espécies divididas em 28 gêneros (LUCINDA, 2003; LUCINDA; REIS, 2005).

As espécies de *Poecilia* são encontradas em uma ampla gama de habitats, apresentam diferenciação morfológica e comportamental dentro e entre espécies, e têm sido estudadas extensivamente para efeito da seleção natural e sexual (BRENDEN *et al.*, 1999).

Todos os poecilídeos são caracterizados pela presença do gonopódio, que é a modificação dos raios 3, 4 e 5 da nadadeira anal dos machos, que é um acessório utilizado na reprodução (HUBBS, 1924; LUCINDA; REIS, 2005 citados por MEREDITH *et al.*, 2011); pela fecundação interna, todos, exceto o *Tomeurus*, são vivíparos (REGAN, 1913; ROSEN; GORDON, 1953; ROSEN; BAILEY, 1963 citados por MEREDITH *et al.*, 2011).

Como parte da revisão da família *Poeciliidae* realizada por Rosen; Bailey (1963) *apud* Brenden *et al.* (1999) foram colocados os gêneros *Mollienesia*, *Allopoecilia*, *Limia*, *Pamphorichthys*, *Lebistes* e *Micropoecilia*, em um único gênero *Poecilia*, mantendo quatro subgêneros. O gênero resultante, *Poecilia*, é muito complexo e amplamente distribuído, desde o sudeste dos Estados Unidos, passando pela Bolívia e indo até o sul do Brasil.

Na presente pesquisa foram utilizados peixes da Família *Poeciliidae*, mais precisamente do subgênero *Mollienesia*, que são os peixes popularmente conhecidos como molinésias. No Quadro 4 pode ser observada a descrição sintetizada da taxonomia dos molinésias, chegando até o nível de subgrupo.

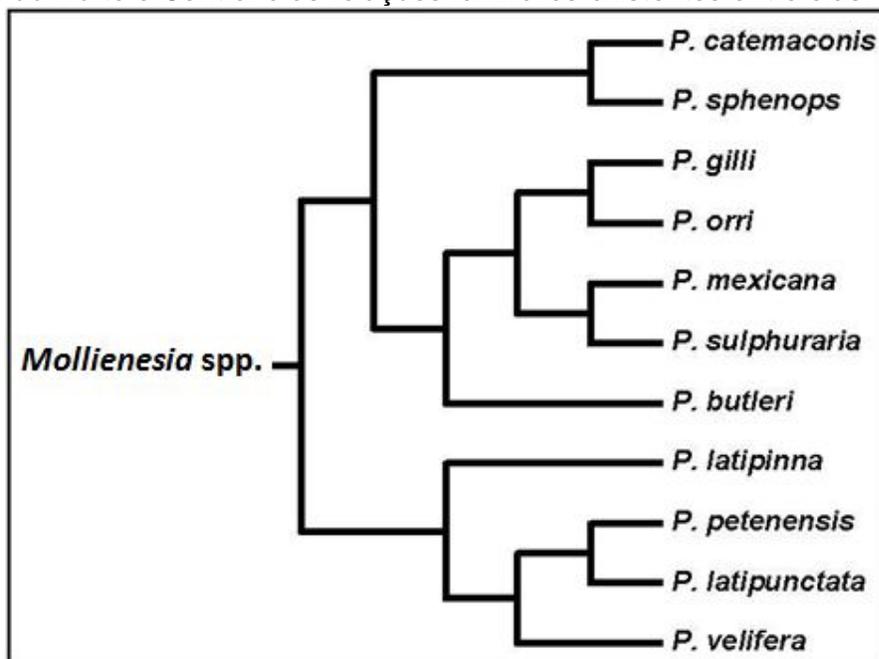
Quadro 4 - Síntese da descrição taxonômica dos molinésias.

Classe	<i>Osteichthies</i>
Subclasse	<i>Actinopterygii</i>
Divisão	<i>Halecostomi</i>
Subdivisão	<i>Teleostei</i>
Ordem	<i>Cyprinodontiformes</i>
Família	<i>Poeciliidae</i>
Subfamília	<i>Poeciliinae</i>
Gênero	<i>Poecilia</i>
Subgênero	<i>Mollienesia</i>
Espécie	spp.

Fonte: Taxonomicon (2011).

O grupo *Mollienesia* consiste de pelo menos 15 espécies descritas distribuídas por todo sul da América do Norte e América Central (RAUCHENBERGER, 1989 *apud* PTACEK, 2005). Na Figura 8 pode ser observada a listagem com 11 espécies, que ocorrem na América do Norte e Central, além das relações familiares existentes.

Figura 8 - Listagem das 11 espécies do grupo *Mollienesia* que ocorrem nas Américas do Norte e Central e as relações familiares existentes entre elas.



Fonte: Adaptado de Ptacek (2005).

Taxonomistas (HUBBS, 1933; MILLER, 1975 citados por PTACEK, 1998) dividem os molinésias em dois grupos: o complexo *P. sphenops*, contendo 10 espécies com nadadeira curta (*shortfin*); e o complexo *P. latipinna*, contendo três espécies com nadadeira de vela (*sailfin*).

Os molinésias são peixes de pequeno porte com tamanho comercial variando entre 5,0 e 7,0 cm. As fêmeas da espécie *Poecilia velifera* crescem até 6,0 centímetros de comprimento e os machos até 8,0 cm de comprimento. Os machos são mais coloridos que as fêmeas e possuem uma longa nadadeira dorsal adiposa que lhes dá uma aparência fabulosa (KUÇUK, 2009).

São peixes filtradores fitoplantófagos com reconhecida rusticidade entre os aquarofilistas e aquicultores ornamentais. Apesar de não serem peixes muito prolíferos, a característica de serem vivíparos facilita a perpetuação da prole, pois os peixes já nascem com tamanho grande quando comparado a outras espécies de peixes ornamentais.

As pesquisas mostram que os poecilídeos têm boa tolerância a variações de salinidade. Myers (1938) *apud* Schlupp; Parzefall; Scharl (2002) cita que o *Amazon molly*, *Poecilia formosa*, é uma espécie eurialina (tolera grandes variações de salinidade) de água doce. Experimentos com guppys (*P. reticulata*) e molinésias *sailfin* (*P. latipinna*) revelaram a mesma tolerância à salinidade (GARGIULO *et al.*, 1992; NORDLIE *et al.*, 1992, citados por SCHLUPP; PARZEFALL; SCHARL, 2002).

A espécie de molinésia *Poecilia sphenops* é considerada euritérmica, sendo altamente tolerante e resistente a variações de temperatura, tendo como valores de temperatura letal superior entre 37,9 °C e 39,9 °C e inferior entre 7,5 °C e 12,9 °C (HERNÁNDES; BÜCKLE, 2002).

Ao analisar as características anteriormente citadas é possível observar que as condições em que a aquicultura é praticada na região nordeste do Brasil possibilitam o cultivo desta espécie, assim como apontam para a viabilidade técnica do seu cultivo utilizando esgoto doméstico tratado como fonte de água e alimento natural.

## **2.6. Qualidade de água para piscicultura**

Os tanques ou viveiros de aquicultura abrigam uma comunidade biótica complexa, composta de organismos produtores primários (fitoplâncton, perífíton 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 organismos cultivados em aquicultura apresentam melhor desempenho quando não são submetidos a ambientes estressantes. O segredo para evitar esta condição ambiental é manter os indicadores de qualidade de água dentro dos padrões exigidos pela espécie que está sendo cultivada, levando em consideração o fato que as condições ótimas para uma espécie podem ser letais para outra (STICKNEY, 2005).

Apesar da grande diferença existente entre as diversas espécies de interesse para a aquicultura, quando se tratam daquelas que habitam uma mesma região, ou mesmo regiões diferentes, mas com características similares, é possível generalizar a faixa de conforto para elas.

Na Tabela 4 seguem os indicadores de qualidade de água monitorados, assim como seus respectivos valores de referência para a piscicultura.

Tabela 4 - Parâmetros ambientais utilizados para a avaliação da qualidade da água utilizada no cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollinesia* spp., em esgoto doméstico tratado.

Parâmetros Ambientais	Valores de referência
Temperatura (°C)	20 – 30
Oxigênio Dissolvido (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	5,0 – 15
Condutividade Elétrica ( $\mu$ S cm <sup>-1</sup> )	< 1.000
Alcalinidade Total (mg de CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	20 – 150
Dureza Total (mg de CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	*
pH	6,5 – 8,5
Nitrogênio Amoniacal Total (mg L <sup>-1</sup> )	< 0,5
Nitrito (mg de N-NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	< 0,3
Nitrato (mg de N-NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	0,2 – 10
Demanda Química de Oxigênio (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	40 – 80**
Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	1 – 1.000***

\* Valores devem ser semelhantes aos de alcalinidade total, valores de referência criados para água de abastecimento humano; \*\* Os valores não devem ser muito elevados para prevenir o esgotamento do oxigênio dissolvido na água; \*\*\* Em água doce.

Fonte: Adaptado de Boyd; Tucker (1998).

## 2.7. Comunidade Fitoplanctônica

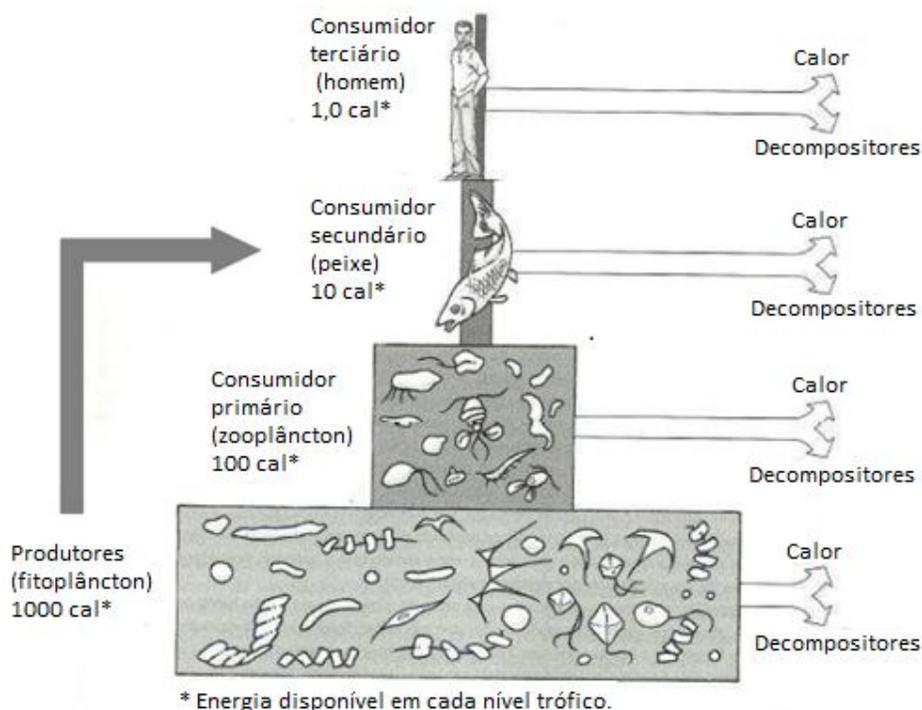
Os fluxos de energia dos ecossistemas envolvem diversos níveis de seres vivos. Os vegetais fotossintetizantes absorvem a energia solar, armazenando-a como energia potencial, na forma de compostos químicos altamente energéticos constituintes de alimentos (BRAGA *et al.*, 2005). Estes organismos formam a base da cadeia alimentar.

Quando se trata dos ecossistemas aquáticos, dentre eles os criados artificialmente para o uso em aquicultura, como os tanques e viveiros, os organismos fitoplanctônicos fazem parte do grupo dos produtores primários. Quando se está

cultivando espécies de peixes filtradoras, estes aproveitam diretamente os organismos produtores primários e outros consumidores primários de menor tamanho (zooplâncton) que se encontram disponíveis na água, tendo, assim, uma maior eficiência na absorção de energia.

Na Figura 9 está exposta uma pirâmide de energia que exemplifica o que acontece em um ambiente onde existam peixes filtradores que possam ser utilizados na alimentação humana, por exemplo, nos cultivos de peixes.

Figura 9 - Pirâmide do fluxo de energia em uma piscicultura que utiliza peixes filtradores destinados à alimentação humana.



Fonte: Adaptado de Braga *et al.* (2005).

O objetivo de fertilizar um viveiro é promover o desenvolvimento da produtividade primária e secundária (HARNISZ; TUCHOLSKI, 2010). Este é o mesmo objetivo quando se utilizam excretas, produzindo o alimento natural necessário aos peixes (EDWARDS, 1992), pois o esgoto doméstico tratado é rico em nitrogênio e fósforo, elementos essenciais para o crescimento da comunidade fitoplanctônica.

Alam *et al.* (2001) mostraram que a densidade da população natural de fitoplâncton tem relação positiva com a concentração dos compostos nitrogenados inorgânicos presentes na água. Estudo realizado por Colman; Edwards (1987) *apud* Edwards (1992) concluiu que, dentre os componentes do plâncton, o fitoplâncton é o principal item alimentar para os peixes filtradores e detritívoros.

Arauzo (2008), investigando a qualidade do esgoto doméstico tratado em uma lagoa de polimento abastecida pelo efluente de um sistema de lodos ativados, observou que este sistema produzia grande quantidade de fitoplâncton. Lagoas de estabilização produzem grandes quantidades de bactérias, fito e zooplâncton, os quais auxiliam no tratamento do efluente (BDOUR; HAMDÍ; TARAWNEHA, 2009). Esses mesmos organismos podem ser prontamente aproveitados na alimentação de peixes planctófagos (filtradores e detritívoros).

Nas lagoas de estabilização, comumente, predominam as algas verdes, como a *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Ankistrodemus* e *Chlamydomonas*, e pigmentadas, como a *Euglena* e *Phacus*, porém, em regiões de temperaturas mais elevadas, as cianobactérias podem ser dominantes, como exemplos: *Agnemellum*, *Microcystis*, *Oscillatoria* (EDWARDS, 1992).

Em diversos trabalhos realizados com a avaliação do conteúdo do trato digestório de peixes filtradores observou-se a incidência de algas das classes *Chlorophyceae*, *Cyanophyceae*, *Euglenophyceae* e *Zignemaphyceae* (XIE, 1999; 2001; TURKER; EVERSOLE; BRUNE, 2003; TRUJILLO-JIMÉNEZ; BETO, 2007), as mesmas classes de algas identificadas em lagoas de estabilização (EDWARDS, 1992; KELLNER; PIRES, 1998; ZANOTELLI *et al.*, 2002; KONIG; CEBALLOS; ALMEIDA, 2002).

Na Tabela 5 estão expostas as características nutricionais de diversos organismos componentes do alimento natural dos peixes, sendo válido salientar que dentre os organismos citados apenas as algas são produtores primários.

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

Organismos	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: Hephher (1988) adaptado por Santos (2008).

A utilização do alimento natural pelos peixes filtradores é uma das formas que o reúso de água permite reciclar os nutrientes que seriam desperdiçados nas águas residuárias. Com essa prática se promove a economia dos recursos naturais pela eliminação dos fertilizantes que seriam aplicados para a promoção do crescimento desses organismos; e pela redução da poluição que seria lançada aos corpos de água através dos efluentes, contribuindo para a sustentabilidade ambiental da piscicultura.

## 2.8. Bem-Estar Animal

### 2.8.1. *Embasamento Teórico*

Segundo Ramos (2006), a idéia central da ciência chamada de Bem-Estar Animal (BEA) é que o homem não deve ser considerado “superior” em relação às outras espécies. Esta tem como objetivo geral conhecer, avaliar e garantir as condições para satisfação das necessidades básicas dos animais que passam a viver, por diferentes motivos, sob o domínio do homem

A BEA tem como base três conceitos principais, que permeiam todos os estudos com os animais: sentimentos/comportamento, funções biológicas (fisiologia) e características de sua vida natural (RAMOS, 2006). Para melhor compreensão da ciência do BEA pelo público em geral, foram criados os 3Rs e as 5 liberdades que fundamentam esta ciência, conforme pode ser observado na Quadro 5.

Quadro 5 - Os 3Rs e as 5 liberdades que fundamentam a ciência do bem-estar animal (BEA).

3Rs (para experimentação)		5 Liberdades
		Todos os animais devem:
Redução	do número de animais utilizados	Ser livres de medo e estresse
		Ser livres de fome e sede
Substituição ( <i>Replacement</i> )	por alternativas sem animais	Ser livres de desconforto
		Ser livres de dor e doenças
Refinamento	dos protocolos experimentais para diminuição de dor e sofrimento	Ser livres para expressar seu comportamento natural

Fonte: Adaptado de Ramos (2006); FAWC (2009).

O interesse pelo bem-estar dos peixes tem aumentado, principalmente no que diz respeito à aquicultura (BROWMAN; SKIFTESVIK, 2007 *apud* BRYDGES *et al.*, 2009). A maioria das pesquisas voltadas para esta ciência tem focado as espécies de peixes de interesse para aquicultura que tenham importância comercial e econômica, mais particularmente os salmonídeos (ELLIS *et al.*, 2002;. ASHLEY, 2007).

No entanto, nos últimos anos, o interesse do público em geral, da comunidade científica e dos governos está se voltando para o bem-estar de peixes ornamentais (WALSTER, 2008 *apud* SAXBY, 2010; BRYDGES *et al.*, 2009).

### 2.8.2. Indicadores Quantitativos

O fator de condição é um parâmetro quantitativo do estado de bem-estar dos peixes; determina a condição da população no presente, estimando o sucesso futuro, o qual sofre influência do crescimento, reprodução e sobrevivência (HOSSAIN *et al.*, 2006a). A condição de um peixe reflete as recentes circunstâncias físicas e biológicas, e varia com as interações entre condições de alimentação, infecções parasitárias e fatores fisiológicos (LE CREN, 1951).

Desta forma, as diferenças no fator de condição podem ser interpretadas como medidas de diversas características biológicas, tais como, obesidade, adequação ao ambiente ou desenvolvimento gonadal (LE CREN, 1951).

A relação peso:comprimento (WLR, do inglês) é uma ferramenta importante na biologia, fisiologia e ecologia dos peixes, assim como na avaliação da pesca (OSCOZ; CAMPOS; ESCALA, 2005).

Nos estudos de biologia pesqueira, a relação peso:comprimento é útil na determinação do peso e biomassa, quando apenas medidas de comprimento estão disponíveis. Também são usadas nas indicações de condição e para permitir a comparação do crescimento de uma determinada espécie em diferentes regiões (OSCOZ; CAMPOS; ESCALA, 2005).

Na aquicultura, a aplicação da relação peso:comprimento facilita os processos de monitoramento do desempenho dos cultivos, sendo utilizada nos processos de biometria, em que, dependendo da espécie, é mais conveniente o acompanhamento do peso ou do crescimento, sendo o outro estimado usando a relação. A respeito disso, Sinovcic *et al.* (2004) explicam que a relação peso:comprimento é necessária para estimar o peso por meio da medida do comprimento, pois a pesagem direta pode ser muito demorada no campo.

A relação peso:comprimento pode ser obtida a partir de medições do comprimento e peso dos peixes, podendo ser acompanhada durante todo o ciclo de vida ou mesmo a partir de uma amostra capturada em um determinado momento (WOOTTON, 1990 *apud* HOSSAIN *et al.*, 2006a).

A relação peso:comprimento em peixes pode ser afetada por uma série de fatores: estação do ano, habitat, estado de maturação gonadal, sexo, dieta, repleção estomacal e estado de saúde (BAGENAL; TESCH, 1978 *apud* LEUNDA; OSCOZ; MIRANDA, 2006).

Entre as principais informações geradas a partir da relação peso:comprimento estão o coeficiente de alometria ( $\theta$ ) e o intercepto, fornecidos pelos componentes da equação de regressão gerada pela citada relação. O intercepto é dado pela constante de regressão (a), e o coeficiente de alometria ( $\theta$ ) pelo coeficiente de regressão (b). Estes componentes farão parte da equação do fator de condição (K) que será demonstrada no item 3.3.7.

A faixa de valores de “b” inicialmente proposta como aceitável para os peixes era de 2,5 a 4,0 (HILE, 1936; MARTIN, 1949 *apud* LE CREN, 1951). Bagenal e Tesch (1978) *apud* Leunda; Oscoz; Miranda (2006) consideram a faixa de 2,0 a 4,0. No entanto, segundo Oscoz; Campos; Escala (2005), todas as estimativas dos valores de “b” devem estar na faixa de 2,5-3,5.

Le Cren (1951) cita que, conforme Allen (1938), para o “peixe ideal”, que é aquele que mantém a mesma proporção e forma corporal durante todo ciclo de vida, o “b” é igual a 3,0, fato ocasionalmente observado. No entanto, na maioria dos casos, esta razão de crescimento dos peixes não é obedecida, sendo “b” diferente de 3,0.

Quando o valor do coeficiente de alometria (b) for igual a 3,0, considera-se o crescimento isométrico, isto é, o incremento de peso é proporcional ao de comprimento. Caso “b” seja menor que 3,0, o crescimento é considerado alométrico negativo, sendo maior o incremento em comprimento que em peso; quando for maior do que 3,0, este é considerado do tipo alométrico positivo, que representa maior incremento em peso que em comprimento (SANTOS *et al.*, 2002).

É válido citar que, embora “b” possa ser diferente para os peixes da mesma espécie em diferentes localidades, sexo, fases do ciclo de vida ou maturidade sexual, muitas vezes este é constante para os que se apresentem semelhantes nos aspectos citados. Portanto, a relação peso:comprimento pode ser um caractere para a diferenciação de pequenas unidades taxonômicas, como qualquer outra relação morfométrica (LE CREN, 1951).

O coeficiente de alometria (b) é aplicado na equação do fator de condição alométrico ( $K_{alom}$ ) para adaptar o fator ao crescimento da espécie em estudo, conforme as condições experimentais. Com a aplicação deste coeficiente deixa-se de usar a constante de Fulton (3,0) que considera o crescimento isométrico para peixes em geral. Mendes; Fonseca; Campos (2004) citam que o fator de condição (K) deve ser usado somente como uma aproximação do fator de condição alométrico ( $K_{alom}$ ).

### **2.8.3. Indicador Qualitativo**

#### **2.8.3.1. Avaliação histopatológica**

A descarga de efluentes industriais, agrícolas e domésticos no ambiente resulta na poluição dos ecossistemas aquáticos (BERNET *et al.*, 1999). A exposição dos animais a altas concentrações de poluentes pode levar rapidamente a morte, no entanto, se os poluentes estiverem em baixas concentrações os danos podem ser crônicos, sendo seus efeitos manifestados em longo prazo (AUSTIN, 1999).

Muitos contaminantes alteram a qualidade da água, causando diversos problemas em peixes, desde doenças a alterações estruturais (CHANG *et al.*, 1998). As enfermidades em peixes associadas com a poluição em ambientes aquáticos incluem: papiloma nas células da epiderme, ulcerações na pele, apodrecimento das nadadeiras, hiperplasia nas células brânquiais, neoplasia das células renais e doenças relacionadas a parasitas e vírus (AUSTIN, 1999).

É possível utilizar a avaliação histopatológica como bioindicador da qualidade ambiental e de bem estar de peixes, pois permite examinar órgãos específicos, como brânquias, rins e fígado, que são responsáveis por funções vitais (GERNHOFER *et al.*, 2001) e nos quais as alterações são de fácil identificação e podem apontar problemas na saúde dos animais (FANTA *et al.*, 2003).

A avaliação histopatológica tem sido utilizada como bioindicador de qualidade ambiental em estudos com efluentes de estação de tratamento de esgoto, onde pode-se citar os estudos realizados por Coutinho; Gokhale (2000), os quais estudaram os efeitos deste ambiente nas brânquias da carpa comum, *Cyprinus carpio*, e da tilápia de Mossambique, *Oreochromis mossambicus*; e por Giensey *et al.* (2003), os quais verificaram os efeitos nos órgãos reprodutores do peixe ornamental kinguio (japonês), *Carassius auratus*.

### 2.8.3.2. *Manutenção do comportamento*

Dentro das 5 liberdades que fundamentam a ciência do BEA, tem uma que diz que: os animais devem ter liberdade para expressar seu comportamento natural (RAMOS, 2006). Com isso, a observação comportamental dos organismos em ambiente experimental pode ser considerada um indicador do BEA.

Entre os diversos comportamentos a serem observados, um que demonstra a adaptação dos organismos ao meio é a capacidade de reprodução, pois, segundo Baldisseroto (2009), é interessante para o peixe encaixar sua reprodução com um período favorável em termos de disponibilidade de alimento e temperatura, para que a prole tenha melhores condições de crescimento e sobrevivência.

A incidência de reprodução dentro das unidades de cultivo experimental expressam que estes estão bem adaptados, sem sofrimento, dor e com condições propícias para perpetuar a sua prole, indicando assim boa condição de bem-estar.

Independente dos meios usados, os resultados mensurados pela ciência do bem-estar e as ideias defendidas pelo movimento de defesa dos direitos dos animais visam um objetivo em comum: a garantia da qualidade de vida dos “animais não homens”, que, em diferentes níveis, se relacionam com o “animal homem” (RAMOS, 2006).

## **2.9. Avaliação Econômica**

Mesmo com a piscicultura brasileira em ascensão, a análise econômica é negligenciada por muitos produtores e técnicos (OLIVEIRA *et al.*, 2010), apesar desta ser uma ferramenta essencial para avaliar a viabilidade dos investimentos em instalações, material, equipamentos e novas tecnologias de cultivo, levando em consideração peculiaridades fisiográficas, climáticas e econômicas de cada região (SILVA *et al.*, 2003).

A análise econômica por meio do levantamento de custos de produção é um instrumento importante para a tomada de decisão. Ela permite identificar os resultados econômicos alcançados, os gargalos na tecnologia de produção adotada e o nível de produção a partir do qual a exploração passa a apresentar lucratividade (CRIVELENTI *et al.*, 2006).

A maior dificuldade encontrada para os estudos de viabilidade econômica de atividades agrícolas está relacionada à monetarização dos recursos naturais. No caso da aquicultura, esta problemática refere-se à cobrança da água, pois os demais componentes do custo de produção desta atividade têm seus valores de mercado claramente estabelecidos.

Fontenele (2007) citam que a ideia de atribuir aos recursos hídricos valores comparáveis aos demais bens e serviços transacionados no mercado não apresenta consenso quanto a metodologia a ser adotada. A divergência acontece tanto em nível conceitual, para fins de cálculo de preço social e de mercado, quanto pelas particularidades de cada região.

Segundo Cánepa *et al.* (2010), a cobrança pelo uso da água é formada por meio de quatro preços:

1. Preço correspondente ao serviço de captação, tratamento para potabilização e distribuição de água tratada ao consumidor;
2. Preço correspondente ao serviço de esgotamento sanitário, isto é, a coleta de esgotos do consumidor, transporte e destinação final da água usada ao corpo hídrico;
3. Preço correspondente à retirada e ao consumo de água, no sentido de racionalizar o consumo, viabilizando, inclusive, o investimento em dispositivos poupadores ou que aumentam a oferta de água; e
4. Preço correspondente ao despejo de efluentes nos corpos d'água receptores (Princípio Poluidor Pagador), no sentido, também, de refrear seu lançamento e viabilizar investimentos, por exemplo, em estações de tratamento.

Os dois primeiros preços acima citados são referentes à cobrança de água para abastecimento e esgotamento sanitário, não sendo estes aplicáveis a

piscicultura, diferentemente dos dois últimos. No entanto, ao tratar-se do uso de efluentes domésticos tratados na piscicultura tornam-se aplicáveis os quatro preços.

Desta forma, observam-se diferentes preços para a cobrança da água, conforme as atividades na qual será aplicada, assim como nas diferentes regiões do país. A cobrança pelo uso da água está instituída nos Estados do Ceará, Paraná, Santa Catarina e em São Paulo, nas Bacias do Rio Paraíba do Sul, Piracicaba, Capivari e Jundiá; e em nível federal, para rios que cortam mais de um estado (BERTONCINI, 2008).

Podem ser citados como exemplos os valores de cobrança pelo uso da água no Estado do Ceará, onde a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (Cogerh), obedecendo ao disposto no Decreto nº 30.159 de 03 de maio de 2010 que, conforme a forma de captação, cobra entre R\$0,43/m<sup>3</sup> e R\$1,29/m<sup>3</sup> para as atividades industriais, enquanto que para o uso em piscicultura em tanques escavados o valor varia de R\$0,003/m<sup>3</sup> a R\$0,0096/m<sup>3</sup> (CEARÁ, 2010). É válido salientar a diferença de preço para o metro cúbico da água bruta para estas duas atividades, fato que será comentado mais adiante neste texto.

Ao tratar-se de uma atividade que envolva reúso de água, a avaliação econômica do emprego de esgoto doméstico tratado na piscicultura poderá ser uma ferramenta de importância fundamental para justificar a implantação desta modalidade de cultivo, assim como das próprias estações de tratamento de efluentes. No entanto, apresenta grande dificuldade de realização pela falta de informações referentes ao tema, principalmente ao que diz respeito à valoração da água de reúso.

Embora em um ritmo ainda bastante lento, algumas companhias municipais e estaduais de saneamento começam a fornecer água de reúso para atender a uma gama relativamente significativa de usos urbanos não potáveis e industriais. (HESPANHOL, 2010). Como exemplo pode ser citado o valor de R\$0,94/m<sup>3</sup> cobrado pela Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) (SABESP, 2012).

Para a elaboração do preço a ser cobrado pelo produto água de reúso tem sido largamente utilizado, entre outras, a metodologia de Disposição a Pagar (DAP) pelos recursos naturais (FONTENELE *et al.*, 2007). No entanto, é válido salientar que existe uma grande diferença no valor que a indústria, a agricultura e a aquicultura estão dispostos a pagar pela água que será usada. O que é coerente, pois também são muito diferentes as características físico-químicas exigidas para cada uma destas atividades, sendo que a qualidade do efluente de uma ETE tem relação direta como custo do tratamento necessário para sua obtenção.

O preço estabelecido para a água de reúso pela metodologia da DAP é fortemente influenciado pelo valor cobrado para a água bruta por agências ou órgãos que gerenciam os recursos hídricos. Sendo assim, a DAP pela água nas indústrias será bem maior que em pisciculturas, pois, como anteriormente citado, o preço cobrado às indústrias é bem maior que para as pisciculturas.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. A Pesquisa**

Foram utilizados três tratamentos experimentais diferentes, para verificar a sustentabilidade do cultivo do peixe ornamental da família *Mollienesia* spp., conhecido popularmente como molinésia, utilizando o esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização como fonte de água de abastecimento dos tanques de cultivo e de alimento aos peixes cultivados.

Foram acompanhados parâmetros físico-químicos e biológicos de qualidade de água para avaliar se a condição ambiental promovida pelos tratamentos testados influenciou nos resultados do cultivo. Para isto, acompanharam-se seis parâmetros zootécnicos, além do fator de condição, e foram realizadas a avaliação histopatológica e a observação do comportamento natural para avaliação do bem-estar animal.

Realizou-se a avaliação econômica dos três tratamentos testados, sendo proposto um índice de sustentabilidade para ser aplicado aos cultivos que utilizarem reúso na aquicultura.

#### **3.2. Área de trabalho**

Os experimentos foram realizados no Centro de Pesquisa sobre Tratamento de Esgotos e Reúso de Águas (latitude: 3°55'1,51"S; longitude: 38°23'37,75"O) conforme mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Imagem de satélite do Centro de Pesquisa sobre Tratamento de Esgotos e Reúso de Águas, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Fonte: Adaptado de Google (2011).

O referido centro de pesquisa está situado em área anexa a uma estação de tratamento de esgoto (ETE) da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), no município de Aquiraz, Ceará, Brasil, a qual utiliza a tecnologia de lagoas de estabilização composta por quatro lagoas em série: uma anaeróbia, uma facultativa e duas de maturação. Na pesquisa utilizou-se o esgoto tratado oriundo da segunda lagoa de maturação.

Esta ETE foi projetada para receber o esgoto dos municípios de Aquiraz e Eusébio, tendo como principais características: população final de projeto de 37.978 habitantes e vazão final de projeto de  $103,43 \text{ L s}^{-1}$ . Esta ETE lança seus efluentes no Rio Pacoti. Na Figura 11 pode ser observado o sistema de lagoas de estabilização utilizado, assim como um trecho do Rio Pacoti.

Figura 11 - Imagem de satélite do sistema de lagoas de estabilização usado na pesquisa assim como um trecho do Rio Pacoti, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.

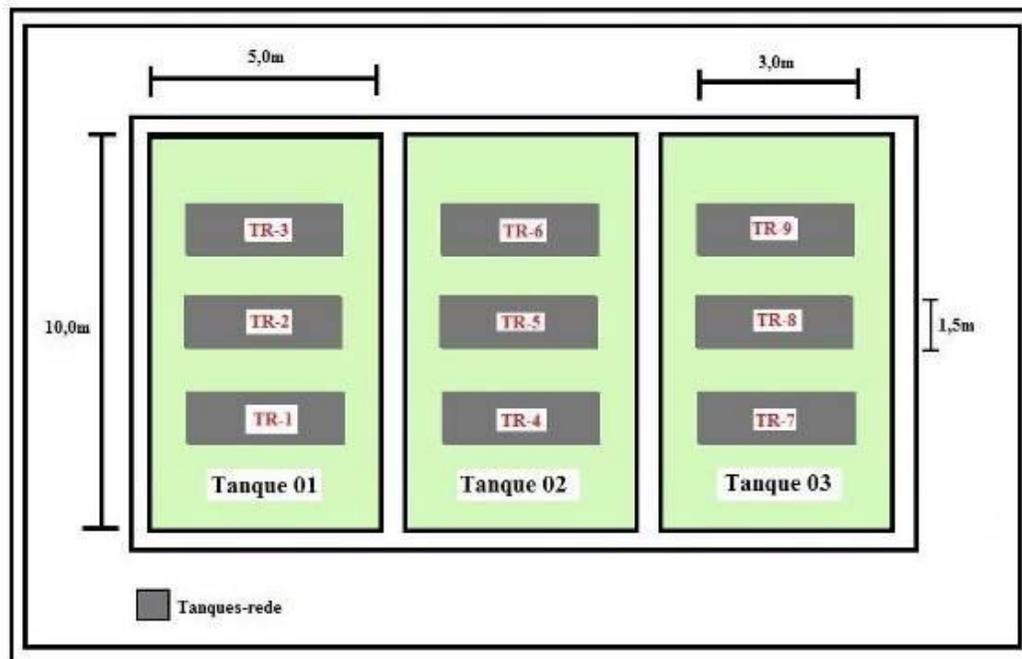


Fonte: Adaptado de Google (2011).

A água bruta utilizada no experimento foi proveniente de fonte subterrânea presente na área da ETE, esta não tendo sofrido qualquer tipo de tratamento. Tanto a água como o esgoto tratado eram bombeados para duas caixas d'água de 10.000 litros, separadamente, de onde eram distribuídas por gravidade para os tanques de piscicultura.

Para a realização do experimento foram utilizados três tanques construídos em alvenaria com volume de  $50\text{m}^3$  ( $10 \times 5,0 \times 1,0\text{m}$ ), no entanto, durante o experimento foi trabalhado com o volume de  $40\text{m}^3$ . Dentro de cada um deles foram colocados três tanques-rede com volume de  $3,6\text{m}^3$  ( $3,0 \times 1,5 \times 0,8\text{m}$ ). Estes foram construídos com tela industrial número 1,5, e cobertos com tampa de tela tipo sombrite 50%. O volume útil dos tanques-rede foi mantido em  $3,0\text{m}^3$ . Na Figura 12 está exposto o *lay-out* da área experimental, onde está enfatizada a disposição dos tanques-rede nos tanques experimentais.

Figura 12 - Lay-out da área experimental utilizada no experimento de cultivo do peixe ornamental *Mollienesia* spp. utilizando esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: TR- Tanque-rede  
Fonte: Autor (2011).

Para melhor percepção das estruturas utilizadas para a realização da pesquisa, na Figura 13 pode ser observada uma fotografia da estrutura experimental utilizada.

Figura 13 – Fotografia da área experimental utilizada no experimento de cultivo do peixe ornamental *Mollienesia* spp. utilizando esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Fonte: Autor (2011).

### **3.3. Protocolos Experimentais**

#### **3.3.1. Hipóteses Testadas**

Durante os 56 dias de cultivo experimental foram testados três tratamentos, conforme descritos a seguir:

- Tratamento ET → Tanque 01 – Tanques-rede 1 (TR-1), 2 (TR-2) e 3 (TR-3): O tanque foi abastecido com esgoto doméstico tratado no sistema de lagoas de estabilização;
- Tratamento ED → Tanque 02 – Tanques-rede 4 (TR-4), 5 (TR-5) e 6 (TR-6): Abastecido com esgoto diluído, sendo a metade do volume constituído de esgoto doméstico tratado e a outra metade de água bruta;
- Tratamento AB → Tanque 03 – Tanques-rede 7 (TR-7), 8 (TR-8) e 9 (TR-9): O tanque foi abastecido com água bruta proveniente de fonte subterrânea.

O esgoto doméstico tratado utilizado no experimento foi proveniente do sistema de lagoas de estabilização descrito anteriormente, tendo sido captado na segunda lagoa de maturação.

Foi fornecida alimentação artificial apenas no tratamento AB. Com isso, objetivou-se verificar o aproveitamento do alimento natural presente no esgoto tratado como fonte alimentar por meio da comparação entre os resultados deste com os tratamentos ED e ET.

Também não foi fornecida aeração artificial em qualquer dos tratamentos experimentais, objetivando verificar a adaptação da espécie ao ambiente de estudo com o mínimo de incremento de tecnologia ao cultivo, reduzindo, assim, os custos de produção.

### 3.3.2. Acompanhamento dos Parâmetros de Qualidade de Água

As análises de temperatura e oxigênio dissolvido (OD) foram monitoradas *in loco* utilizando-se uma sonda multiparamétrica modelo YSI-55. O monitoramento das concentrações de OD foi feito em duas profundidades, a 15 cm da superfície e do fundo. Com isso, reduz-se a influência da difusão atmosférica e do consumo de oxigênio pelo bentos, nos resultados da concentração do OD na coluna de água.

Para a realização das demais análises foram coletadas amostras da água dos três tanques experimentais, assim como do esgoto doméstico tratado e da água bruta utilizados para abastecê-los.

As amostras coletadas foram devidamente identificadas e acondicionadas em caixas térmicas à temperatura de 4,0°C, as quais foram encaminhadas ao Laboratório de Saneamento (Labosan) do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), sendo analisadas seguindo metodologia apresentada no *Standard Methods* (APHA, 2005).

Os valores de amônia não-ionizada (mg de N-NH<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>) foram calculados a partir da aplicação dos resultados obtidos de amônia total, pH e temperatura, usando as Equações 01 e 02, propostas por Albert (1973) e Emerson *et al.* (1975), respectivamente.

$$\text{NH}_3 = \left[ \text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ \right] / \left[ 1 + 10^{(\text{pKa} - \text{pH})} \right] \quad (01)$$

$$\text{pKa} = 0,0918 + 2729,92 / [T(^{\circ}\text{C}) + 273] \quad (02)$$

Na Tabela 6 são mostrados os parâmetros físico-químicos analisados na água de cultivo e o método selecionado do *Standard Methods* (APHA, 2005).

Tabela 6 - Parâmetros ambientais utilizados para a avaliação da qualidade da água utilizada no cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollinnesia spp.*, em esgoto doméstico tratado.

Parâmetros Ambientais	Metodologia
Temperatura (°C)	Eletrométrico (YSI-55)
OD (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	Eletrométrico (YSI-55)
CE (μS cm <sup>-1</sup> )	Eletrométrico (célula de condutividade)
AT (mg de CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	Titulométrico Neutralização
DT (mg de CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	Titulométrico com EDTA
Ph	Eletrométrico
NAT (mg L <sup>-1</sup> )	Titulométrico
Nitrito (mg de N-NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	Espectrofotométrico (sulfanilamida/etilenodiamina)
Nitrato (mg de N-NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	Espectrofotométrico (nesselerização direta)
DQO (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	Refluxação Fechada do Dicromato
Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	Titulação com Nitrato de Prata

OD: Oxigênio dissolvido; CE: Condutividade elétrica; AT: Alcalinidade total; DT: Dureza total; NAT: Nitrogênio amoniacal total; DQO: Demanda química de oxigênio.

### 3.3.3. Avaliação Qualitativa da Comunidade Fitoplanctônica.

O intuito de realizar a avaliação qualitativa da comunidade fitoplanctônica foi caracterizar os principais grupos de microalgas presentes na água de cultivo em cada um dos tratamentos experimentais, para com isso avaliar a disponibilidade e a qualidade do alimento natural presente no meio. Paralelamente, também foi possível verificar a influência dos parâmetros físico-químicos, utilizados para a avaliação da qualidade ambiental do meio, sobre os organismos fitoplanctônicos, e vice-versa.

#### 3.3.3.1. Amostragem

Foi realizada uma única coleta da água de cada um dos tanques ao final do cultivo experimental. Assim, a comunidade fitoplanctônica teve tempo suficiente para a adaptação e conseqüente colonização definitiva no meio de cultivo.

Para as análises qualitativas, foram coletados 1.000 mL de amostra concentrada de 10 litros da água de cultivo de cada um dos tratamentos experimentais. Para isto, foi utilizada uma rede de plâncton de 20μm de abertura de malha, conforme pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 - Rede de plâncton utilizada para coletar e concentrar as amostras da comunidade fitoplanctônica da água de cultivo dos tratamentos experimentais.



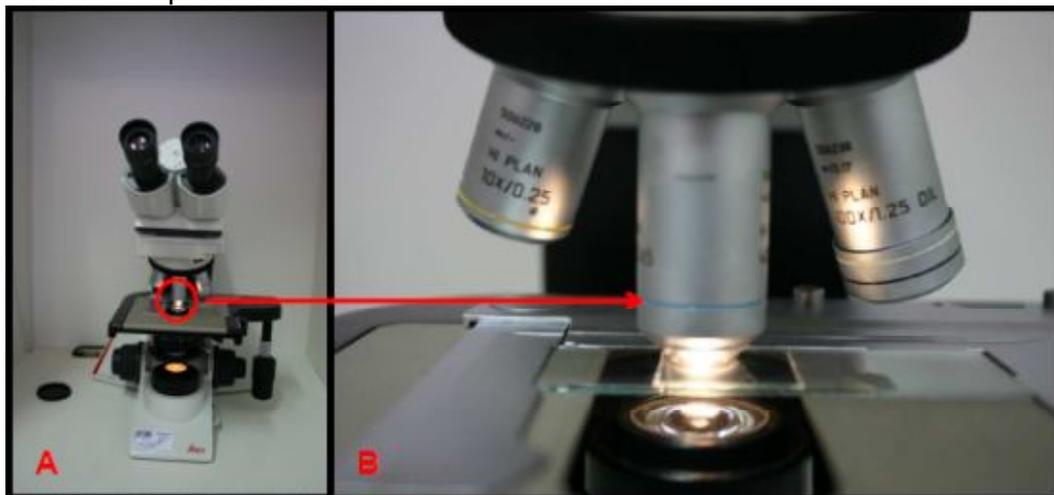
Fonte: Autor (2011).

Após as coletas, as amostras foram acondicionadas em frascos de vidro âmbar e preservadas com formalina tamponada. Posteriormente, os frascos foram acondicionados em caixas isotérmicas contendo gelo para o transporte.

#### 3.3.3.2. *Identificação da comunidade fitoplanctônica*

As identificações foram realizadas no Laboratório de Carcinicultura (LACAR) do Instituto Superior de Ciências Biomédicas (ISCB) da Universidade Estadual do Ceará (UECE), por meio de microscopia de campo claro com um microscópio ótico binocular marca LEICA modelo BM 2000, utilizando objetiva 40x, conforme pode ser observado na Figura 15A e B. As fotografias foram obtidas com uma câmera fotográfica CANON.

Figura 15 - Microscópio óptico binocular marca LEICA modelo MB 2000 com objetiva 40x, utilizada para identificação da comunidade fitoplanctônica da água dos tratamentos experimentais.



Fonte: Autor (2011).

Foram realizadas observações em cinco (05) lâminas de cada tratamento experimental. Utilizaram-se, para a identificação, chaves de classificação baseadas na seguinte bibliografia especializada: Bourrely (1972), Komárek (1983), Streble; Krauter (1987), Komárek; Anagnostidis (1999), Bicudo; Menezes (2006), San'tana *et al.* (2006), Cybis *et al.* (2006) e Bellinger; Sigee (2010).

Foi calculada a frequência relativa de aparecimento (FRA) dos gêneros e táxons identificados, usando a Equação 03:

$$FRA = (n/N) \times 100 \quad (03)$$

Onde:

FRA: Frequência relativa de aparecimento (%);

n: número de organismos identificados na amostra por gênero ou táxon;

N: número total de organismos identificados na amostra.

### 3.3.4. Povoamento e Biometrias

Os alevinos foram fornecidos pela empresa Piscicultura Capuan, especializada no cultivo de peixes ornamentais, que fica localizada no município de

Caucaia-CE. Ao chegar ao Centro Experimental sobre Tratamento de Esgoto e Reúso de Águas, os peixes foram divididos aleatoriamente em três caixas d'água, onde foi realizada a aclimatação dos mesmos à água dos viveiros de cultivo: esgoto doméstico tratado, esgoto doméstico tratado diluído e água bruta, conforme cada tratamento experimental.

Este procedimento se deu por meio da mistura gradual, nas caixas d'água adaptadas, do esgoto doméstico, ou água bruta proveniente do local, com a água do transporte, e teve duração de aproximadamente uma hora. Então, foi realizada uma biometria, quando foi medido o comprimento total (mm) e peso médio (g) para a caracterização da população inicial piscícola estocada nos tanques experimentais, conforme demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Caracterização da população estocada no experimento para o cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollinnesia* spp., utilizando esgoto doméstico tratado.

Parâmetros Zootécnicos	Tratamentos Experimentais		
	ET	ED	AB
Densidade de estocagem (peixe/m <sup>3</sup> )	200	200	200
Comprimento total inicial (mm)	12,6 ± 2,50a	12,5 ± 1,81a	12,0 ± 1,79a
Peso médio inicial (g)	0,032 ± 0,006a	0,033 ± 0,007a	0,032 ± 0,004a

ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta

A Figura 16 apresenta uma amostra dos alevinos estocados nos tanques experimentais na biometria realizada no momento do povoamento.

Figura 16 - Amostra dos alevinos de molinésia, *Mollinnesia* spp., estocados nos tanques experimentais para o cultivo com esgoto doméstico tratado.



Fonte: Autor (2011).

Foram realizadas biometrias periodicamente durante o decorrer do cultivo, no intuito de serem coletados os dados necessários para o acompanhamento do desenvolvimento dos organismos cultivados. As amostras eram compostas de aproximadamente 10% da população estocada, coletadas aleatoriamente com o uso de uma rede tipo puçá. O experimento teve duração de 56 dias, quando foi realizada a despesca e uma biometria para obtenção dos dados finais.

Na pesagem dos indivíduos, utilizou-se uma balança digital do tipo Filizola, modelo MF-I, com precisão de 0,5g. Para as medições de comprimento total dos peixes, utilizou-se um paquímetro digital *Western PRO* com precisão de 0,1mm.

### **3.3.5. *Curvas de Crescimento***

As sete (07) biometrias realizadas no decorrer do experimento forneceram os dados médios de comprimento total (mm) e peso (g), que foram plotados no eixo “y” do gráfico; no eixo “x” foram plotados os dias de cultivo. Desta forma foram confeccionadas as curvas de crescimento em comprimento e peso.

### **3.3.6. *Acompanhamento dos Parâmetros de Rendimento Zootécnico***

Para a verificação da viabilidade do cultivo torna-se necessário o estabelecimento de alguns parâmetros a serem utilizados na avaliação. Na Tabela 8 são indicados os principais parâmetros utilizados para a avaliação do rendimento zootécnico dos tratamentos testados, os quais têm significativa importância para a avaliação do potencial de produção desta atividade.

Tabela 8 - Parâmetros zootécnicos analisados durante o cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., em esgoto doméstico tratado, além das respectivas equações e referências.

Parâmetros Zootécnicos	Equações	Referências
Ganho de peso (g)	$GP = P_f - P_i$	Marques <i>et al.</i> (2004) Muangkeow <i>et al.</i> (2007)
Ganho de peso diário (g/dia)	$GPD = \frac{(P_f - P_i)}{t}$	Silva <i>et al.</i> (2006) Azaza; Dhraïef; Kraïem (2008)
Taxa de crescimento específico diário (%/dia)	$TCE = \left[ \left( \ln \frac{P_f}{P_i} \right) / t \right] \times 100$	Fessehaye <i>et al.</i> (2007) Asaduzzaman <i>et al.</i> (2009)
Crescimento em comprimento (mm)	$C = Ct_f - Ct_i$	Santos <i>et al.</i> (2009a;b)
Crescimento diário (mm/dia)	$CD = \frac{(Ct_f - Ct_i)}{t}$	Santos <i>et al.</i> (2009a;b)
Taxa de Sobrevivência (%)	$S = \left( \frac{n_f}{n_i} \right) \times 100$	Souza <i>et al.</i> (2008) Scorvo Filho <i>et al.</i> (2006)

$P_f$  = peso final (g);  $P_i$  = Peso inicial (g);  $t$  = tempo (dias de cultivo);  $Ct_f$  = Comprimento total final (mm);  $Ct_i$  = Comprimento total inicial (mm);  $n_f$  = população final (nº de peixes);  $n_i$  = população inicial (nº de peixes).

### 3.3.7. Avaliação do Bem-Estar Animal

#### 3.3.7.1. Indicadores Quantitativos – Relação peso:comprimento e fator de condição

Durante as biometrias realizadas periodicamente no decorrer do cultivo, os peixes eram pesados (g) e medidos (cm), sendo possível estimar a relação peso:comprimento e, então, aplicar os fatores de condição alométrico e de Fulton. O Fator de Condição é uma medida quantitativa do bem-estar dos peixes (LE CREN, 1951; MENDES; FONSECA; CAMPOS, 2004).

A relação peso:comprimento foi obtida plotando-se em gráfico o peso médio (g) dos peixes no eixo “x” e o comprimento total (cm) no eixo “y”, sendo gerada a curva que representa a dispersão dos pontos de intersecção entre os dois eixos, representada pela Equação 04 (SANTOS *et al.*, 2002):

$$P = a \times C^b \quad (04)$$

Onde:

P = Peso médio (g);

C = Comprimento total (cm);

a = Constante de regressão (intercepto);

b = Coeficiente de regressão (coeficiente angular).

Para estimar o bem-estar dos peixes, foram utilizados os fatores de condição de Fulton (PIEDRAS; MORAES; POUHEY, 2004; 2006) e alométrico (LEMOS *et al.*, 2006; ALMEIDA; NUÑER, 2009), os quais estão representados nas Equações 05 e 06, respectivamente:

$$K_{Fulton} = \left( \frac{P}{C_t^3} \right) \times 100 \quad (05)$$

$$K_{alom} = \left( \frac{P}{C_t^b} \right) \times 100 \quad (06)$$

Onde:

$K_{Fulton}$  = Fator de condição de Fulton;

3 = Constante de Fulton, a qual considera crescimento isométrico.

$K_{alom}$  = Fator de condição alométrico;

O coeficiente de regressão (b) equivale ao coeficiente de alometria ( $\theta$ ), que por sua vez representa a forma de crescimento do indivíduo (SANTOS *et al.*, 2002). Na Tabela 9 é possível observar as possíveis relações entre o coeficiente de alometria ( $\theta$ ) e as proporções de incremento de comprimento e peso.

Tabela 9 - Possíveis relações entre o coeficiente de alometria ( $\theta$ ) e as proporções de incremento de comprimento e peso.

<b>Relação</b>	<b>Forma de Crescimento</b>	<b>Proporção de Incremento</b>
$\theta < 3$	Alometria negativa	comprimento > peso
$\theta = 3$	Isometria	comprimento = peso
$\theta > 3$	Alometria positiva	comprimento < peso

### 3.3.7.2. Indicadores Qualitativos – Avaliação histopatológica e comportamental

Ao final do experimento foram retirados dez peixes, aleatoriamente, de cada tratamento testado, totalizando trinta peixes analisados, os quais foram anestesiados por imersão em solução com eugenol (300 mg L<sup>-1</sup>), sacrificados por meio de secção cervical e fixados com solução de Davidson.

Como anteriormente citado, na presente pesquisa foram utilizados molinésias, peixes ornamentais de pequeno porte, o que permitiu que os cortes histológicos abrangessem a total extensão corporal dos espécimes analisados; desta forma, em cada lâmina era possível observar todos os órgãos de cada peixe. Para preparação das lâminas foi utilizado o processamento histológico padrão conforme descrito em Camargo; Martinez (2007).

Procurou-se identificar a influência do meio ambiente no bem estar dos peixes cultivados. Para isso, utilizou-se o protocolo proposto por Benet *et al.* (1999) para a avaliação dos tecidos amostrados. Esta metodologia avalia os danos ocorridos nos tecidos por meio de índices obtidos a partir de dois atributos numéricos: (1) a importância da alteração patológica definida por intermédio de um fator de importância, e (2) a extensão da alteração patológica no tecido quantificado por meio de um escore numérico.

O fator de importância de uma lesão é dado em função do efeito desta sobre a habilidade do peixe sobreviver (BERNET *et al.*, 1999), enquanto o valor numérico corresponde à extensão da lesão observada em todo o campo visual analisado sob microscopia.

O somatório da multiplicação do fator de importância pelo valor numérico das alterações diagnosticadas em cada um dos órgãos analisados resultou em diferentes valores deste índice para cada um dos órgãos, o que permitiu a aplicação das análises estatísticas.

Foi também observada a manutenção do comportamento natural do peixe dentro do ambiente de cultivo, onde fora observada a ocorrência do comportamento reprodutivo.

### 3.3.8. Avaliação Econômica

Para a análise econômica da produção dos molinésias, foi adaptada a metodologia proposta por Silva *et al.* (2003) e Marengoni *et al.* (2008), os quais consideram o custo operacional parcial (COP), a receita bruta (RB), a estimativa da receita líquida parcial (RLP) e a adaptação da incidência de custo (IC), proposto por Soliman *et al.* (2000) *apud* Silva *et al.* (2003).

A seguir, apresentam-se as fórmulas utilizadas para os cálculos dos parâmetros econômicos:

$$\text{COP} = (\text{QR} \times \text{PR}) + (\text{NA} \times \text{PA}) + [(\text{VAb} \times \text{PAb}) + (\text{VAr} \times \text{PAr})] \quad (07)$$

Onde:

COP = custo operacional parcial;

QR = quantidade média de ração/tratamento (kg);

PR = preço do kg de ração (R\$/kg);

NA = número inicial de alevinos por tratamento (unidade);

PA = preço unitário dos alevinos (R\$);

VAb = Volume de água bruta utilizada (m<sup>3</sup>);

PAb = Preço do metro cúbico da água bruta (R\$/m<sup>3</sup>);

VAr = Volume de água de reúso utilizada (m<sup>3</sup>);

PAr = Preço do metro cúbico da água de reúso (R\$/m<sup>3</sup>).

$$\text{RB} = \text{NF} \times \text{PP} \quad (08)$$

Onde:

RB = receita bruta (R\$);

NF = número final de peixes por tratamento (unidade);

PP = preço unitário de venda do peixe (R\$/unidade);

$$\text{RLP} = \text{RB} - \text{COP} \quad (09)$$

Onde:

RLP = receita líquida parcial (R\$);

$$IC = COP/NF \quad (10)$$

Onde:

IC = incidência de custo (R\$/peixe).

Seguem os valores utilizados nos cálculos da avaliação econômica dos cultivos experimentais, os quais foram cotados em março de 2012, da seguinte maneira:

- Alevinos de Molinésia → Apesar de não ser comumente realizado o comércio de alevinos de molinésia, utilizou-se o custo de R\$0,01/unidade, valor médio proposto por três produtores de peixes ornamentais na região metropolitana de Fortaleza-CE;
- Adultos de Molinésia → Foi utilizado o valor de R\$0,30/unidade para o peixe com as características zootécnicas do produzido neste experimento. Este foi obtido a partir do valor médio proposto por três comerciantes de peixes ornamentais que atuam na região metropolitana de Fortaleza-CE;
- Ração → Foi utilizado o valor de R\$2,48/kg de ração extrusada e farelada para peixes com hábito alimentar onívoro e com 50% de proteína bruta (PB) em sua composição. Este foi o preço médio obtido em pesquisa junto a seis varejistas de ração na região metropolitana de Fortaleza-CE;
- Água Bruta → Foi utilizado o valor de R\$0,003/m<sup>3</sup> conforme estabelecido pelo Decreto nº 30.159 de 03 de maio de 2010 (CEARÁ, 2010) para água bruta captada em mananciais sem adução, da Cogerh, a ser utilizada em piscicultura em tanques escavados;
- Água de Reúso → Para esta componente assumiu-se duas situações:
  1. Foi considerado o valor de R\$0,94/m<sup>3</sup> utilizado pela Sabesp para a comercialização do produto água de reúso (SABESP, 2012). Os gastos com transporte são por conta do comprador. No entanto, como a área experimental é adjacente à estação de tratamento não foi considerado custo adicional.
  2. Foi assumido o valor de R\$0,47/m<sup>3</sup>, metade do cobrado pela Sabesp, no intuito de tentar minimizar a disparidade entre o valor cobrado pela

água bruta e pela de reúso, considerando a diferença da tecnologia de tratamento de esgoto utilizado pela Sabesp (lodos ativados + desinfecção) e a utilizada na presente pesquisa (lagoas de estabilização), sendo a primeira bem mais onerosa que a segunda.

Pelo fato de cada tratamento experimental ter sido realizado em um tanque construído em alvenaria onde, durante o período experimental, foi mantido o volume de 40 m<sup>3</sup>, onde foram instalados os três tanques redes efetivamente usados no cultivo, optou-se em realizar os cálculos pertinentes à avaliação econômica considerando os dados por tratamento, isto é, somando-se as três unidades de cultivo experimental. Desta forma, não foi realizada a divisão do volume de água mantido durante o cultivo (40 m<sup>3</sup>), pelos três tanques rede utilizados em cada tratamento.

### **3.3.9. Avaliação da Sustentabilidade**

Para a avaliação de sustentabilidade do presente experimento foi adaptada a metodologia proposta por Santos *et al.* (2011), onde foi sugerido o Índice de Sustentabilidade Ambiental para o Reúso em Aquicultura (ISAR<sub>RP</sub>). Neste índice foram aplicados os valores normalizados de indicadores de qualidade de água e de produtividade. No entanto, na elaboração do índice proposto para o presente experimento foram realizadas mudanças nos indicadores anteriormente utilizados, além do acréscimo de indicadores econômicos.

Nos itens seguintes apresenta-se o detalhamento da metodologia de elaboração do Índice de Sustentabilidade para Reúso em Aquicultura (ISRA) proposto no presente estudo.

#### **3.3.9.1. Metodologia de normalização dos indicadores utilizados**

Na Tabela 10 constam os indicadores de qualidade de água com seus respectivos valores de referência, conforme propostos por Colt (2006), para sistemas com reúso de água em aquicultura; e por Boyd: Tucker (1998), para sistema de

cultivo em aquicultura; os quais foram utilizados como base para o estabelecimento dos limites máximos e mínimos para a normalização dos indicadores utilizados no ISRA.

Tabela 10 - Indicadores de qualidade de água, seus respectivos valores, referências bibliográficas e descrição, que foram aplicados no ISRA.

Parâmetro	Referência	Descrição	Valor
pH	Colt (2006)	Sistema de reúso em aquicultura	6 a 9
OD (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	Colt (2006)	Sistema de reúso em aquicultura	≥3,5
NAT (mg L <sup>-1</sup> )	Colt (2006)	Sistema de reúso em aquicultura	≤5,0
DQO (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	Boyd; Tucker (1990)	Sistemas de aquicultura	40 a 80

ISRA; Índice de sustentabilidade para reúso em aquicultura; OD: Oxigênio Dissolvido; NAT: Nitrogênio amoniacal total; DQO: Demanda química de oxigênio.

Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2011)

Além dos quatro indicadores de qualidade de água supracitados foram considerados para a composição do ISRA: a taxa de sobrevivência, a receita líquida por metro cúbico e o custo operacional por metro cúbico.

Na piscicultura ornamental a taxa de sobrevivência (S) indica a produção obtida, pois a comercialização é realizada visando o valor unitário do produto (R\$/peixe), diferentemente das “espécies de corte”, em que a produção é negociada utilizando o peso total obtido ao final do cultivo (biomassa final), onde é cobrado o valor por quilograma do produto (R\$/kg). A taxa de sobrevivência também mostra a capacidade de adaptação da espécie às condições ambientais do meio onde está sendo cultivada, podendo ser considerada como indicador de produção e de bem estar animal.

A receita líquida por metro cúbico (RLm<sup>3</sup>) de unidade de cultivo utilizada é um indicador que avalia conjuntamente a produção (quantidade de produto obtido em cada unidade de área ou volume, e.g. peixes/m<sup>3</sup>) e a receita obtida. Esta receita foi estabelecida pela Equação 11:

$$RLm^3 = RLP/V \quad (11)$$

Onde:

RLm<sup>3</sup> = Receita líquida por metro cúbico (R\$/m<sup>3</sup>);

RLP = Receita líquida parcial (R\$);

V = Volume total das unidades de cultivos utilizadas ( $m^3$ ).

Da mesma forma da  $RLm^3$ , foi também utilizado o custo operacional por metro cúbico ( $COm^3$ ), usando como indicador que avalia os custos envolvidos por cada unidade volumétrica de produção utilizada. Este custo foi estabelecido pela Equação 12:

$$COm^3 = COP/V \quad (12)$$

Onde:

$COm^3$  = Custo operacional por metro cúbico (R\$/ $m^3$ );

COP = Custo operacional parcial (R\$);

V = Volume total das unidades de cultivos utilizadas ( $m^3$ ).

Os parâmetros de qualidade de água e a produtividade foram normalizados por meio da transformação do valor real obtido do indicador em um *quantum* que varia entre zero e um, de forma que o valor um significa a melhor condição de sustentabilidade alcançada e o valor zero o desempenho mais desfavorável, ou seja, sustentabilidade não alcançada (RABELO, 2007).

Para realizar a normalização, torna-se necessária a definição dos limites máximos e mínimos da escala que será adotada. Na Tabela 11, estão expostos os valores máximos e mínimos adotados, assim como as respectivas justificativas.

Tabela 11 - Limites máximos e mínimos e as respectivas justificativas dos indicadores utilizados na composição do ISRA.

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Justificativa
pH	6	9	Faixa recomendada para sistemas de reúso em aquicultura
OD (mg de $O_2 L^{-1}$ )	1,0	7,0	Valor indicado para sistemas de reúso como meio da escala
NAT (mg $L^{-1}$ )	5,0	20,0	Limite mínimo da faixa equivalente ao proposto para sistemas de reúso em aquicultura
DQO (mg de $O_2 L^{-1}$ )	5,0	800,0	Limite máximo da faixa equivalente ao valor máximo para esgoto sanitário
S (%)	0	100	Sobrevivência máxima e mínima possível na atividade aquícola
$RLm^3$ (R\$/ $m^3$ )	0	120	Receita máxima e mínima possível para as condições de cultivo adotadas
$COm^3$ (R\$/ $m^3$ )	2,03	11,30	Somatório dos custos máximos e mínimos obtidos no experimento

ISRA; Índice de sustentabilidade para reúso em aquicultura; OD: Oxigênio Dissolvido; NAT: Nitrogênio amoniacal total; DQO: Demanda química de oxigênio; S: Taxa de sobrevivência;  $RLm^3$ : Receita líquida por metro cúbico;  $COm^3$ : Custo operacional por metro cúbico.

Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2011).

É válido enfatizar que para a definição do valor máximo de RLM<sup>3</sup> foi considerado o preço máximo de venda do peixe produzido (R\$0,60/peixe) em um metro cúbico, na densidade experimental testada (200peixes/m<sup>3</sup>) com 100% de sobrevivência, o que caracteriza a receita máxima possível de ser obtida nas condições experimentais (R\$120,00/m<sup>3</sup>). Para o valor mínimo de RLM<sup>3</sup> foi considerado a receita mínima possível de ser obtida nas condições experimentais, isto é, perda total da produção por mortalidade (R\$0,00/m<sup>3</sup>).

Para o estabelecimento do limite máximo de COM<sup>3</sup> foi realizado o somatório dos valores máximos das componentes do custo operacional (alevinos, ração e água) obtidas nos tratamentos experimentais, e então foi dividido pelo volume utilizado para a produção (9,0m<sup>3</sup>). O custo com alevino foi R\$18,00, que foi igual nos três tratamentos; custo com ração de R\$6,65 no tratamento AB, o único em que esta foi utilizada; e o custo com água de R\$77,08 obtido no tratamento ET, que usou somente água de reúso com o valor cobrado pela Sabesp. O valor total foi R\$101,73, o qual, dividido pelos 9,0m<sup>3</sup> utilizados, gerou o COM<sup>3</sup> máximo de R\$11,30/m<sup>3</sup>.

O mesmo raciocínio foi utilizado para a obtenção do limite mínimo de COM<sup>3</sup>, sendo utilizados os seguintes valores: custo com alevino R\$18,00, que foi igual nos três tratamentos; custo com ração de R\$0,00, pois nos tratamentos ET e ED não houve uso deste insumo; e o custo com água de R\$0,25, obtido no tratamento AB, que usou somente água bruta. Perfazendo o valor limite mínimo de COM<sup>3</sup> de R\$2,03/m<sup>3</sup>.

O procedimento seguinte foi definir o número de classes que seriam adotadas para, então, calcular o intervalo das classes. Foram definidas 11 classes distribuídas igualmente no intervalo de 0 a 1. Para a definição do intervalo de classe de normalização (Ic) foi aplicada Equação 13 a todos os indicadores utilizados.

$$Ic = |V_f - V_i| / N_c - 1 \quad (13)$$

Onde:

Ic = Intervalo de classe de normalização;

$V_f$  = Valor considerado indesejado ou insustentável para o indicador que está sendo avaliado;

$V_i$  = Valor considerado desejado ou sustentável para o indicador que está sendo avaliado;

$N_c$  = Número de classes que foi estabelecida.

O pH tem como peculiaridade o valor desejado estar no meio da faixa considerada (6 a 9); dessa forma, a equação foi aplicada em duas faixas, considerando o valor 7,5 como o mais desejável. Assim, em cada uma das faixas a escala diminuiu ou aumentou de 7,5 até o valor indesejado, 6 ou 9.

Na Tabela 12 é possível observar os valores estabelecidos por meio da equação de intervalo de classe de normalização para os indicadores assumidos como referência, assim como o respectivo fator de normalização que foi aplicado a eles para o cálculo do ISRA. Para a apresentação dos resultados da normalização, adaptou-se a metodologia sugerida por Pesce; Wunderlin (2000).

Tabela 12 - Fator de normalização dos indicadores de qualidade de água, sobrevivência e indicadores econômicos utilizados nos cálculos do ISRA.

INDICADORES	FATOR DE NORMALIZAÇÃO										
	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
pH	7,50	7,65	7,80	7,95	8,10	8,25	8,40	8,55	8,70	8,85	≥ 9,0
	7,50	7,35	7,20	7,05	6,90	6,75	6,60	6,45	6,30	6,15	≤ 6,0
OD (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	≥ 7,0	6,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	≤ 1,0
NAT (mg L <sup>-1</sup> )	≤ 2,0	3,8	5,6	7,4	9,2	11	12,8	14,6	16,4	18,2	≥ 20
DQO (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	≤ 5,0	84,5	164,0	243,5	323,0	402,5	482,0	561,5	641,0	720,5	≥ 800
S (%)	≥ 100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
RLm <sup>3</sup> (R\$/m <sup>3</sup> )	≥ 120	108	96	84	72	60	48	36	24	12	0
COM <sup>3</sup> (R\$)	≤ 2,03	2,96	3,89	4,82	5,75	6,68	7,61	8,54	9,47	10,40	≥ 11,3

ISRA: Índice de sustentabilidade para reúso em aquicultura; OD: Oxigênio Dissolvido; NAT: Nitrogênio amoniacal total; DQO: Demanda química de oxigênio; S: Taxa de sobrevivência; RLm<sup>3</sup>: Receita líquida por metro cúbico; COM<sup>3</sup>: Custo operacional por metro cúbico.

Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2011)

A partir dos valores apresentados na Tabela 12 é possível definir as equações de normalização referentes aos indicadores apresentados, conforme exposto na Tabela 13. O valor de cada indicador substitui o “x” em sua respectiva equação, fornecendo o valor normalizado “y”.

Tabela 13 - Equação de normalização dos parâmetros de qualidade de água, sobrevivência e indicadores econômicos utilizados nos cálculos do ISRA.

Indicador (x)	Equação de Normalização
pH	y = -0,6667x + 6 y = 0,6667x - 4
OD (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	y = 0,1744x - 0,1343
NAT (mg L <sup>-1</sup> )	y = -0,0556x + 1,1111
DQO (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	y = -0,0013x + 1,0063
S (%)	y = 0,01x
RLm <sup>3</sup> (R\$/m <sup>3</sup> )	y = 0,0083x
COM <sup>3</sup> (R\$/m <sup>3</sup> )	y = -0,1077x + 1,219

ISRA; Índice de sustentabilidade para reúso em aquicultura; OD: Oxigênio Dissolvido; NAT: Nitrogênio amoniacal total; DQO: Demanda química de oxigênio; S: Taxa de sobrevivência; RLm<sup>3</sup>: Receita líquida por metro cúbico; COM<sup>3</sup>: Custo operacional por metro cúbico.  
Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2011)

### 3.3.9.2. Índice de Sustentabilidade para Reúso em Aquicultura (ISRA)

O ISRA foi calculado utilizando os valores normalizados (0 a 1) dos indicadores de produção, bem estar animal, economia e de qualidade de água, estabelecendo pesos variando de zero a três a cada um deles conforme sua importância e, então, calculando-se a média geométrica. Para o cálculo do ISRA foi utilizada a Equação 14, a qual foi adaptada da metodologia aplicada por Nascimento; Araújo (2008).

$$ISRA = \sum_{n=1}^m \left[ \frac{E_i \times P_i}{m \times P_{maxi}} \right] \quad (14)$$

Onde:

ISRA = Índice de sustentabilidade para reúso em aquicultura;

E<sub>i</sub> = Escore do i-ésimo indicador;

P<sub>i</sub> = Peso do i-ésimo indicador;

P<sub>maxi</sub> = Peso máximo do i-ésimo indicador;

i = 1, ..., m;

m = Número de indicadores.

Na Tabela 14 apresenta-se a classificação adotada para avaliação dos resultados de ISRA, os quais tiveram seus valores de referência estabelecidos conforme adaptação dos valores sugeridos por Nascimento; Araújo (2008), Valenti

(2008), Santos *et al.* (2011). Quanto maior o resultado obtido, maior será o nível de sustentabilidade.

Tabela 14 - Classificação de sustentabilidade adotada para avaliação dos resultados do ISRA.

<b>Classificação de Sustentabilidade</b>	<b>ISRA</b>
Insustentável	0,0 - 0,20
Baixa sustentabilidade	0,21 – 0,40
Média sustentabilidade	0,41 - 0,60
Potencialmente sustentável	0,61 -0,80
Sustentável	0,81 - 1,0

ISRA: Índice de sustentabilidade para reúso em aquicultura.

Fonte: Adaptado de Nascimento; Araújo (2008); Valenti (2008) e Santos *et al.* (2011).

### **3.3.10. Análises Estatísticas**

Para garantia da segurança e fidelidade dos dados obtidos, assim como para obtenção de um número de observações que tornasse possível a realização das análises estatísticas, os experimentos foram realizados em triplicata. Desta forma foram instalados três tanques rede em cada um dos três tanques utilizados nos tratamentos experimentais.

Os dados de crescimento em comprimento (mm), ganho de peso (g) e ganho de peso diário (g/dia), da taxa de crescimento específico (%/dia), fator de condição, alométrico e de Fulton, índice de alteração histopatológica, assim como dos parâmetros de qualidade de água, foram submetidos às análises estatísticas ANOVA (*Analysis of Variance*) ou Kruskal-Wallis e aos testes de Tukey ou Dunn, considerando uma significância mínima de 5,0% ( $\rho = 0,05$ ), conforme a apresentação dos dados. Para isso, utilizou-se o programa *BioEstat 5.0*.

Foram feitos os testes de *Lilliefors* e *Shapiro-Wilk* para a verificação da normalidade entre os dados. Também, foi cumprida a homocedasticidade, condição exigida para tais análises.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Parâmetros Físico-Químicos de Qualidade da Água

Na Tabela 15 é possível observar os resultados médios e respectivos desvios-padrão e níveis de significância, dos parâmetros assumidos na avaliação da qualidade da água utilizada nos três tratamentos experimentais testados. Em todos os parâmetros avaliados foi realizada a comparação entre os tratamentos, estando os resultados das comparações entre as médias representados por meio das letras que os acompanham, onde letras diferentes dentro de um mesmo parâmetro expressam diferença estatisticamente significativa.

Tabela 15 - Resultados (média  $\pm$  desvio padrão), testes estatísticos, nível de significância, e número de amostras dos parâmetros físico-químicos utilizados para a avaliação da qualidade da água do cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.

Parâmetros Ambientais	Tratamentos Experimentais			p	n
	ET	ED	AB		
Temperatura (°C)	27,0 $\pm$ 1,0b	27,3 $\pm$ 1,0ab	28,6 $\pm$ 1,2a	0,0336	07
OD (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	1,29 $\pm$ 1,10b	2,06 $\pm$ 1,61b	8,96 $\pm$ 1,92a	0,0001	10
CE ( $\mu$ S cm <sup>-1</sup> )	927 $\pm$ 149a	611 $\pm$ 102b	383 $\pm$ 56c	0,0001	05
Cloreto (mg L <sup>-1</sup> )	212,7 $\pm$ 11,1a	127,0 $\pm$ 3,2b	63,7 $\pm$ 3,2c	0,0001	05
AT (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	206,4 $\pm$ 20,4a	147,6 $\pm$ 23,5b	117,1 $\pm$ 30,8b	0,0006	05
DT (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	24,1 $\pm$ 2,0a	17,4 $\pm$ 1,9b	8,0 $\pm$ 1,4c	0,0001	05
pH	8,61 $\pm$ 0,61ab	8,53 $\pm$ 0,42b	9,68 $\pm$ 0,18a	0,0027	07
NAT (mg L <sup>-1</sup> )	2,65 $\pm$ 0,42a	0,87 $\pm$ 0,38b	0,41 $\pm$ 0,16b	0,0001	06
N-NH <sub>3</sub> (mg L <sup>-1</sup> )	0,62 $\pm$ 0,53a	0,22 $\pm$ 0,20a	0,32 $\pm$ 0,13a	0,1034	06
Nitrito (mg L <sup>-1</sup> )	1,04 $\pm$ 0,72a	0,64 $\pm$ 0,49ab	0,04 $\pm$ 0,05b	0,0133	07
Nitrato (mg L <sup>-1</sup> )	0,20 $\pm$ 0,17a	0,13 $\pm$ 0,11a	0,11 $\pm$ 0,09a	0,6886	05
DQO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	175,77 $\pm$ 42,10a	115,67 $\pm$ 37,35ab	96,36 $\pm$ 43,77b	0,0116	06

OD: Oxigênio dissolvido; CE: Condutividade elétrica; AT: Alcalinidade total; DT: Dureza Total; NAT: Nitrogênio amoniacal total; N-NH<sub>3</sub>: Amônia não-ionizada; DQO: Demanda química de oxigênio; ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água Bruta.

Fonte: Autor (2011)

Nos itens a seguir estão expostas algumas peculiaridades ocorridas durante o monitoramento dos principais parâmetros ambientais utilizados na avaliação da qualidade da água dos tanques utilizados nos cultivos experimentais.

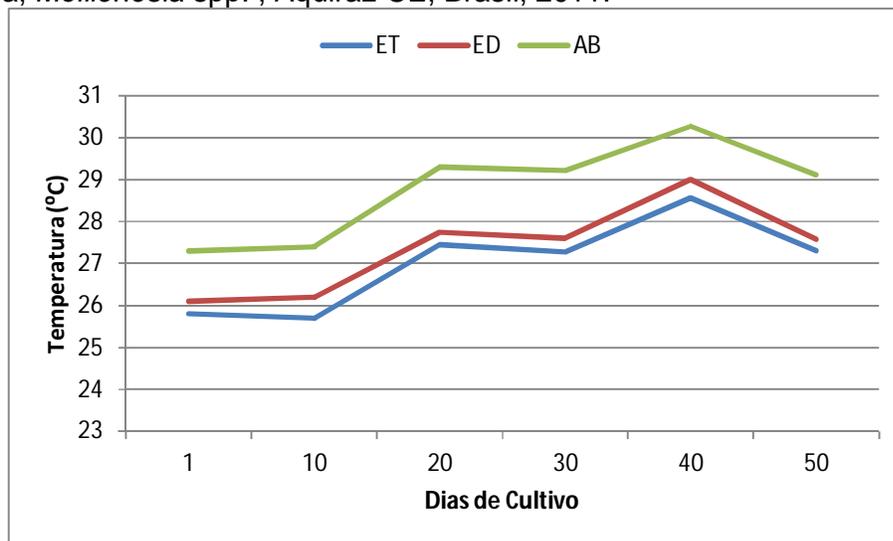
#### 4.1.4. Temperatura

Os valores médios da temperatura da água de cultivo mostraram que o valor médio do tratamento abastecido com água bruta (AB =  $28,6 \pm 1,2$  °C) apresentou diferença estatisticamente significativa quando comparado ao tratamento abastecido somente com esgoto tratado (ET =  $27,0 \pm 1,0$  °C). No entanto, foi semelhante ao do tratamento abastecido com esgoto diluído (ED =  $27,3 \pm 1,0$  °C), que por sua vez também foi semelhante ao tratamento ET.

Os resultados obtidos no monitoramento da temperatura da água de cultivo dos três tratamentos experimentais estão dentro da faixa recomendada por Boyd; Tucker (1998) para os cultivos em aquicultura, que é de 20 a 30 °C. Segundo Hernández; Bückle (2002), para o cultivo de *Poecilia sphenops* o polígono de temperatura é de 20 a 35 °C. As fêmeas da mesma espécie preferem temperatura entre 30 e 31 °C e os machos entre 23,8 e 24,2 °C (HERNÁNDEZ; BÜCKLE, 2010). A maior taxa de reprodução do *Poecilia sphenops* ocorre quando a temperatura está na faixa entre os 25 e 30 °C (HERNÁNDEZ; BÜCKLE, ESPINA, 2002).

Na Figura 17 é possível observar o perfil da variação da temperatura (°C) da água de cultivo nos três tratamentos experimentais testados para o cultivo do molinésia em esgoto doméstico tratado.

Figura 17 - Representação gráfica dos resultados do monitoramento da temperatura (°C) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia spp.*, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.  
Fonte: Autor (2011).

A variação da temperatura no decorrer do cultivo seguiu a mesma proporção para os três tratamentos experimentais, no entanto, a temperatura no tratamento que foi abastecido com água bruta (AB) se manteve mais alta que nos demais, durante todo o cultivo. No tratamento com esgoto diluído (ED), apesar do resultado ter sido bem próximo ao tratamento que recebeu somente esgoto tratado (ET), apresentou valores acima dos registrados para este tratamento.

O perfil dos valores de temperatura apresentados neste experimento leva a considerar que, nos tratamentos que receberam esgoto tratado, houve a formação de uma camada com adensamento de microalgas próximo a superfície, impedindo a penetração de radiação solar para as camadas inferiores da água, o que limitou a penetração de calor, agindo como uma camada termicamente isolante.

#### 4.1.2. Oxigênio Dissolvido

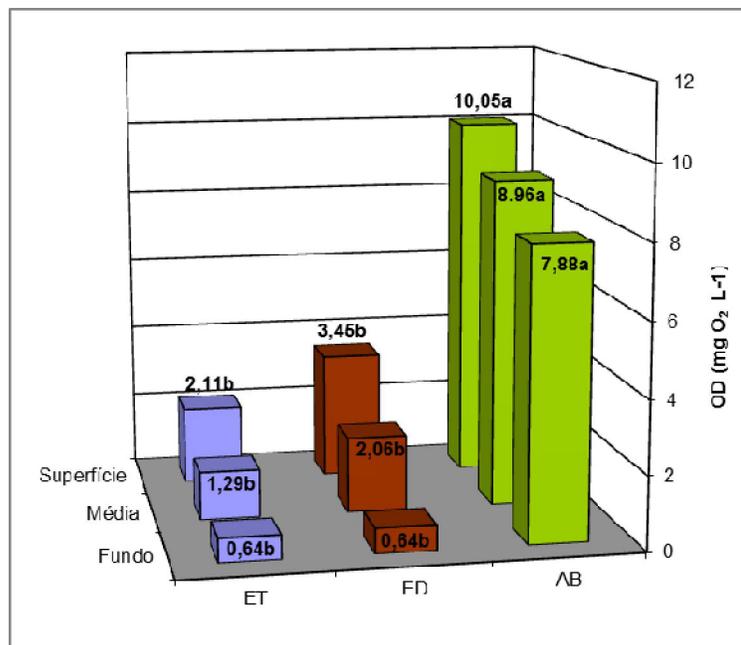
As concentrações médias de oxigênio dissolvido (OD) no tratamento que utilizou somente esgoto tratado (ET) e no que utilizou esgoto diluído (ED) foram  $1,29 \pm 1,10 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  e  $2,06 \pm 1,61 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ , respectivamente. Estes valores não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si. No entanto, ambos

apresentaram diferença estatisticamente significativa quando comparados ao valor medido no tratamento que utilizou água bruta (AB), que foi de  $8,96 \pm 1,92 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ .

As concentrações médias obtidas nos tratamentos ET e ED apresentaram valores abaixo da concentração mínima proposta por Colt (2006) para um bom desempenho em cultivos com sistemas de reúso e recirculação, nos quais a concentração de OD deve ser acima de  $3,5 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ . Quando comparado com a concentração de  $5,0 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  proposta por Boyd; Tucker (1998) para os cultivos em aquicultura, as concentrações médias destes dois tratamentos foram ainda mais baixas.

Na Figura 18 é possível observar os valores médios da concentração de OD ( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ) na água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., além das concentrações médias de superfície e fundo de cada um dos tratamentos separadamente.

Figura 18 - Representação gráfica dos valores médios do tratamento, superfície e fundo do oxigênio dissolvido ( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta. Letras diferentes dentro de uma mesma profundidade, ou da média, do tratamento indicam diferença estatisticamente significativa.

Fonte: Autor (2011).

Uma importante informação que pode ser observada na Figura 17 é a diferença das concentrações de OD nas diferentes profundidades. Esta diferença ocorre pela influência na profundidade da zona eufótica dentro dos tanques de cada tratamento. A zona eufótica é a porção iluminada da coluna de água, que pode variar de alguns centímetros a vários metros (ESTEVES, 1998; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008), marcando a profundidade em que ocorre a fotossíntese.

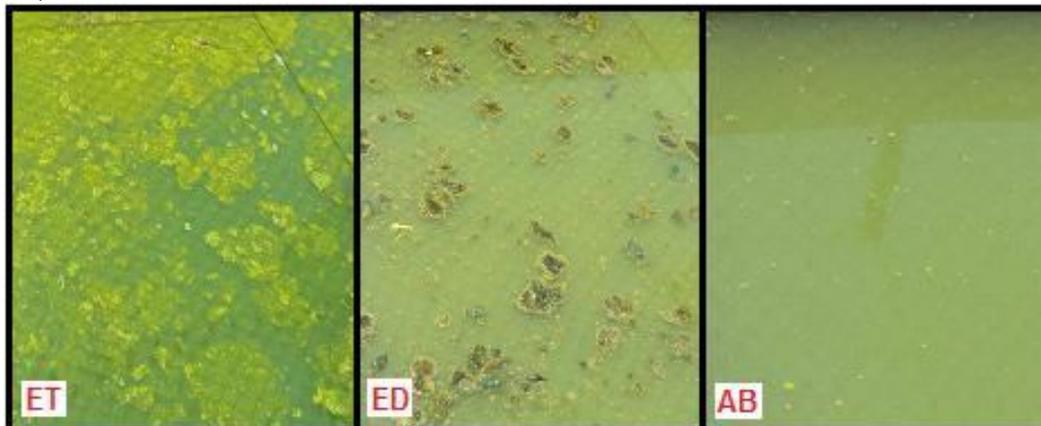
Nos tratamentos ET e ED as concentrações de OD no fundo apresentaram valor semelhante ( $0,64 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ); no entanto, na superfície os valores foram diferentes, sendo em ET menor que em ED, sendo estes  $2,11 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  e  $3,45 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ , respectivamente. Este fato mostra que, no tratamento ET, a abundância de microalgas presente próximo a superfície da água impediu a penetração da radiação solar, reduzindo a fotossíntese e ocasionando a baixa concentração de OD nas camadas mais profundas.

Segundo Tundisi; Matsumura-Tundisi (2008), extensos florescimentos de cianobactérias podem reduzir a radiação solar que chega à superfície de corpos de água a apenas alguns centímetros, portanto, a zona eufótica é extremamente influenciada pela concentração dos organismos fitoplanctônicos.

No tratamento ED, observa-se que a concentração média de OD na superfície da água foi semelhante ao valor recomendado para os sistema de reúso em aquicultura, que é de  $3,5 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  (COLT, 2006), conforme anteriormente citado. Este fato aponta a melhor condição para o cultivo dos peixes neste tratamento em relação ao tratamento ET. O tratamento AB proporcionou o melhor resultado entre os tratamentos experimentais.

Na Figura 19 pode ser observada a camada superficial de algas nos três tratamentos experimentais. É válido salientar a diferença existente na coloração entre elas. As medidas de transparência de *Secchi* da água foram realizadas esporadicamente no decorrer do cultivo. No dia em que foram obtidas as imagens da Figura 19 as transparências foram de 15, 25 e 40 cm, respectivamente, para os tratamentos ET, ED e AB.

Figura 19 - Imagem da coloração da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



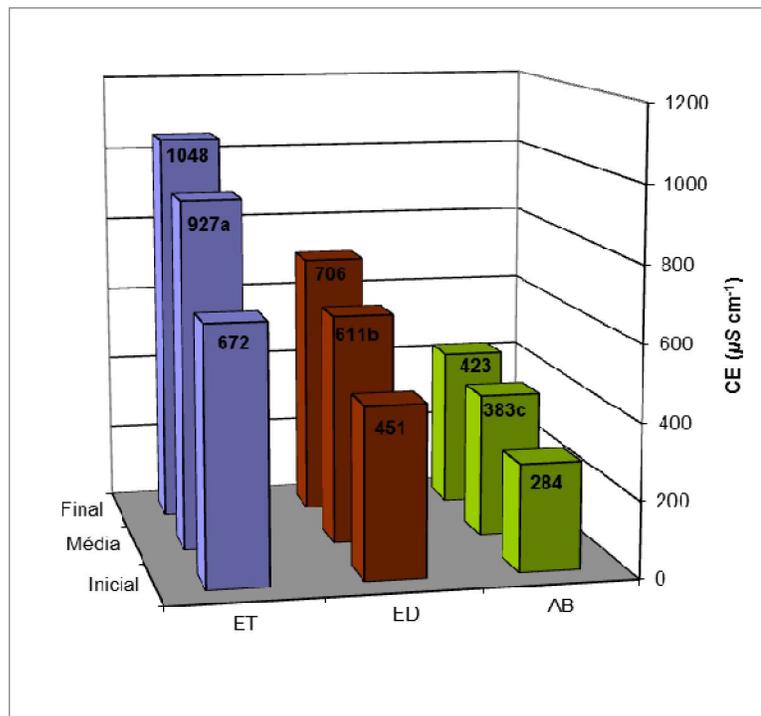
Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.  
Fonte: Autor (2011).

#### 4.1.3. Condutividade Elétrica e Cloreto

Os resultados da condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais apresentaram-se em ordem decrescente, sendo o valor mais alto do tratamento ET ( $927 \pm 149 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), seguido pelo tratamento ED ( $611 \pm 102 \mu\text{S cm}^{-1}$ ) e este pelo tratamento AB ( $383 \pm 56 \mu\text{S cm}^{-1}$ ). Os resultados dos três tratamentos apresentaram diferença estatisticamente significativa entre eles.

Na Figura 20 é possível observar os valores médios, iniciais e finais de condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) para os três tratamentos experimentais. É válido salientar que os valores iniciais corresponderam aos valores mínimos de cada tratamento; da mesma forma, os valores finais corresponderam aos máximos.

Figura 20 - Representação gráfica dos valores iniciais, as médias, e os valores finais de condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollinnesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.  
 Letras diferentes dentro dos valores médios dos tratamentos indicam diferença estatisticamente significativa.  
 Fonte: Autor (2011).

Pode-se observar que nos três tratamentos experimentais os valores iniciais de condutividade elétrica foram menores que os valores finais, o que mostra que houve o acúmulo de sais na água de cultivo. Com a evaporação da água, principalmente nos tanques abastecidos com esgoto tratado, no decorrer do cultivo, ocorre o aumento na concentração dos sais presentes no meio, elevando os valores de CE e também de cloreto, como será citado a seguir.

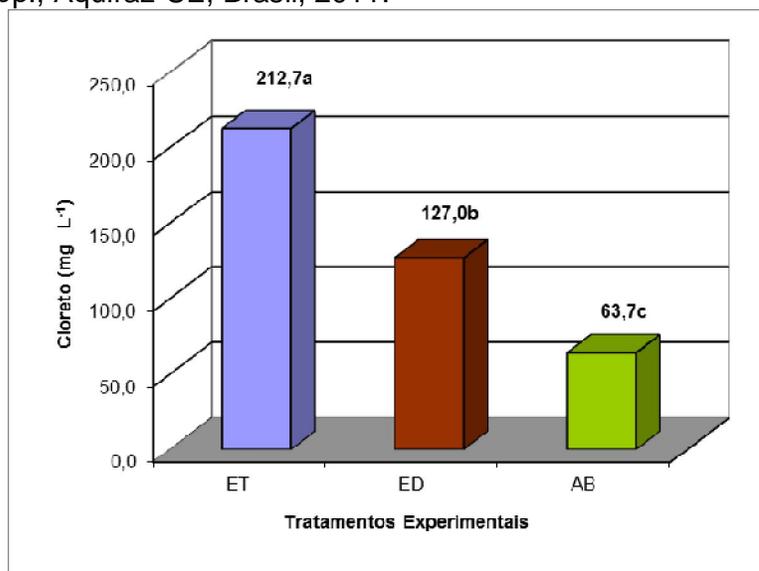
Como pode ser observado na Figura 19, no tratamento ET o valor inicial da condutividade elétrica foi de  $672 \mu\text{S cm}^{-1}$  e o valor final foi de  $1.048 \mu\text{S cm}^{-1}$ , o que implica em acréscimo de 56% em sua concentração. No tratamento ED o acréscimo foi de 56,5%, sendo os valores inicial e final de condutividade elétrica, neste tratamento,  $451 \mu\text{S cm}^{-1}$  e  $706 \mu\text{S cm}^{-1}$ , respectivamente. O tratamento AB apresentou acréscimo de 48,9%, com o valor inicial de  $284 \mu\text{S cm}^{-1}$  e final de  $423 \mu\text{S cm}^{-1}$ .

É válido salientar que os valores recomendados de condutividade elétrica por Boyd; Tucker (1998) para cultivos em aquicultura devem ser menores que  $1.000 \mu S \text{ cm}^{-1}$ . Assim, é possível observar que apenas no final do período de cultivo este valor foi ultrapassado somente no tratamento ET.

O cloreto está entre os íons que compõem os macronutrientes, os quais são os que mais diretamente influenciam os valores de condutividade elétrica na água doce (ESTEVES, 1998). O mesmo autor comenta que há relação entre a concentração de cloretos, a produção primária (redução dos valores) e a decomposição da matéria orgânica (aumento dos valores).

Os resultados de cloreto ( $\text{mg L}^{-1}$ ) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais apresentaram-se em ordem decrescente, sendo o valor mais alto do tratamento ET ( $212,7 \pm 11,1 \text{ mg L}^{-1}$ ), seguido pelo tratamento ED ( $127,0 \pm 3,2 \text{ mg L}^{-1}$ ) e este pelo tratamento AB ( $63,7 \pm 3,2 \text{ mg L}^{-1}$ ). Os resultados dos três tratamentos apresentaram diferença estatisticamente significativa entre eles. Na Figura 21 é possível observar os valores médios de cloreto ( $\text{mg L}^{-1}$ ) para os três tratamentos experimentais.

Figura 21 - Representação gráfica dos valores médios de cloreto ( $\text{mg L}^{-1}$ ) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollinnesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.  
Letras diferentes dentro dos valores médios dos tratamentos indicam diferença estatisticamente significativa.  
Fonte: Autor (2011).

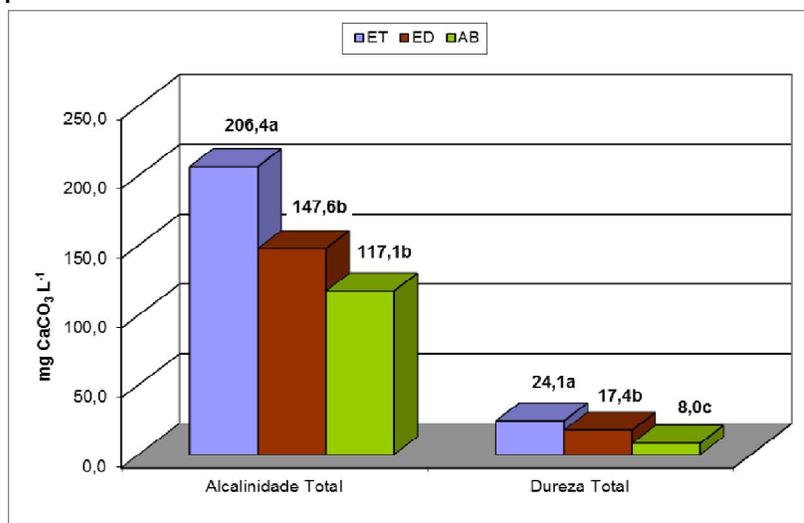
#### 4.1.4. Alcalinidade Total e Dureza Total

Os resultados de alcalinidade total foram: no tratamento ET, de  $206,4 \pm 20,4$  mg  $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ; no tratamento ED, de  $147,6 \pm 23,5$  mg  $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ; e no tratamento AB, de  $117,1 \pm 30,8$  mg  $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ . Apesar da diferença nos valores absolutos, apenas o tratamento ET apresentou diferença estatisticamente significativa quando comparado aos demais.

Quanto aos resultados de dureza total foram: no tratamento ET, de  $24,1 \pm 2,0$  mg  $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ; no tratamento ED, de  $17,4 \pm 1,9$  mg  $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ; e no tratamento AB, de  $8,0 \pm 1,4$  mg  $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ . Os valores médios de dureza total apresentaram diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos.

Nos resultados obtidos no monitoramento da água de cultivo dos três tratamentos experimentais observou-se que os valores de alcalinidade total apresentaram-se bem maiores que os de dureza total. Na Figura 22 é possível observar os valores médios de alcalinidade total (mg  $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ) e dureza total (mg  $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ) nos três tratamentos experimentais, podendo-se observar a grande diferença apresentada entre estes dois parâmetros.

Figura 22 - Representação gráfica dos valores médios de alcalinidade total (mg  $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ) e dureza total (mg  $\text{CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ ) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollinnesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.  
 Letras diferentes dentro dos valores médios de cada parâmetro dos tratamentos indicam diferença estatisticamente significativa.  
 Fonte: Autor (2011).

Os valores de alcalinidade total devem ser semelhantes ao de dureza total. Grandes diferenças entre as concentrações destes dois parâmetros indicam desequilíbrios no ambiente. Como exemplo, pode-se citar que, em ambientes eutrofizados, concentrações de alcalinidade total muito maiores que as de dureza total podem causar elevação excessiva dos valores de pH (BOYD; TUCKER, 1998).

Nos experimentos conduzidos por Küçük (2009), que testou a espécie de molinésia *Poecilia velifera*, foram utilizadas duas combinações de parâmetros de qualidade de água: na primeira, a alcalinidade total e a dureza total foram mantidas nas concentrações de 600 e 732,5 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>, respectivamente; na segunda combinação, a alcalinidade total foi de 90,0 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> e a dureza total de 109,8 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>. Com isso, observou-se que os valores de dureza total foram mantidos maiores que o de alcalinidade total, sendo constante a relação de 1,22 entre estes dois parâmetros em ambos os casos.

Nos tratamentos ET e ED a relação dureza total:alcalinidade total foi de 0,12 e no tratamento AB foi de 0,07. Os valores obtidos nos tratamentos experimentais foram bem abaixo do valor proposto por Boyd (1990), que recomenda para a manutenção do poder tampão (o qual evita as variações bruscas de pH) que a relação dureza total:alcalinidade total seja mantida maior que 1,0. Os resultados muito baixos desta relação nos tratamentos experimentais podem explicar o valor médio de pH muito alto, especialmente no tratamento AB.

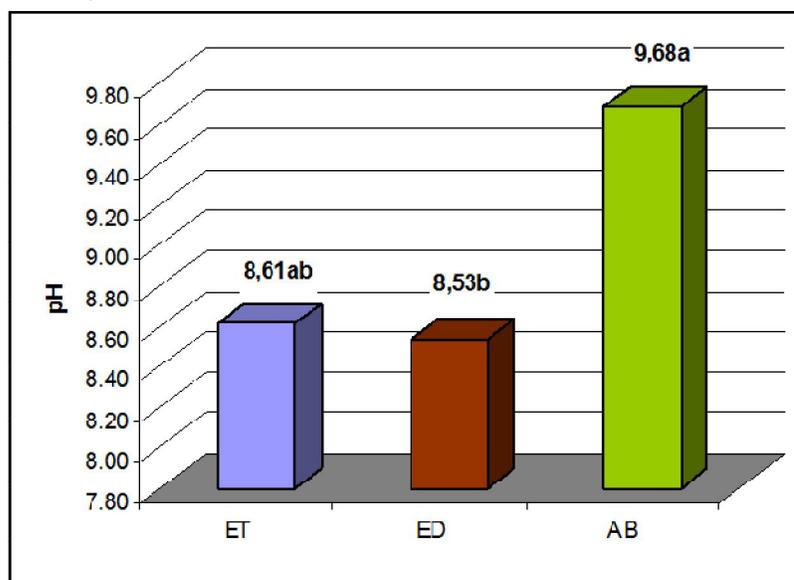
Além da relação dureza total:alcalinidade total, outra importante informação obtida no experimento conduzido por Küçük (2009) é que os melhores desempenhos observados foram nas condições de água em que os valores de alcalinidade total e dureza total foram mais elevados. Observa-se que os valores de dureza total e alcalinidade total obtidos no presente estudo foram bem abaixo dos utilizados no experimento conduzido por Küçük (2009).

#### 4.1.5. pH e Compostos Nitrogenados

O resultado médio de pH no tratamento AB foi de  $9,68 \pm 0,18$ , sendo o mais alto entre os três tratamentos experimentais. Este tratamento apresentou diferença estatisticamente significativa apenas quando comparado ao tratamento ED, o qual apresentou pH médio de  $8,53 \pm 0,42$ . Já o tratamento ET apresentou valor médio de pH igual a  $8,61 \pm 0,61$ , que por sua vez não apresentou diferença estatisticamente significativa quando comparado com os outros dois tratamentos experimentais.

Na Figura 23 é possível observar as diferenças entre os valores médios de pH nos três tratamentos experimentais.

Figura 23 - Representação gráfica dos valores médios de pH da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.  
 Letras diferentes dentro dos valores médios dos tratamentos indicam diferença estatisticamente significativa.  
 Fonte: Autor (2011).

Ecossistemas aquáticos com elevados valores de pH são encontrados, geralmente, em regiões cársticas (ricas em cálcio), com balanço hídrico negativo e em regiões influenciadas pelo mar (ESTEVEES, 1998). O mesmo autor cita que

baixos valores de pH têm relação direta com a concentração de ácidos orgânicos dissolvidos.

No esgoto tratado as concentrações de pH tendem a diminuir. Isto ocorre pela presença de ácidos orgânicos, como o ácido carbônico, e do próprio dióxido de carbono, que após dissociados, liberam íons  $H^+$  na água reduzindo o pH. No entanto, o esgoto tratado também apresenta elevada biomassa algal o que, por meio da fotossíntese, consome essas fontes de carbono e libera íons  $OH^-$ , tornando o pH elevado.

Desta forma, pode-se associar o valor elevado de pH apresentado no tratamento AB às características naturais do aquífero utilizado para seu abastecimento. Nos tratamentos ET e ED os valores de pH se mantiveram mais baixos que no AB, no entanto, os resultados obtidos também são considerados altos.

Segundo Bastos *et al.* (2003), o pH ideal para o cultivo de peixes encontra-se na faixa de 6,5 a 9,5, onde a presença de bicarbonatos é dominante. Zhou *et al.* (2009) recomendam valores de pH variando entre 6,0 e 8,5 para a aquicultura praticada em água doce. Valores de pH fora dessa faixa afetam o crescimento, em virtude do estresse ácido ou alcalino; para valores abaixo de 4,5 ou acima de 10,5 poderá ocorrer mortalidade significativa (KUBITZA, 2000).

O principal efeito do pH nos organismos aquáticos cultivados é indireto, alterando a forma de outros parâmetros químicos, dentre os quais é relevante destacar os compostos nitrogenados, dos quais a amônia é o mais importante para a piscicultura (ARAÑA, 2004; MOTA; AQUINO; SANTOS, 2007; MONTEIRO *et al.*, 2011).

Os valores médios de nitrogênio amoniacal total (NAT) foram  $2,65 \pm 0,42 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $0,87 \pm 0,38 \text{ mg L}^{-1}$  e  $0,41 \pm 0,16 \text{ mg L}^{-1}$  para os tratamentos ET, ED e AB, respectivamente. O resultado do tratamento ET apresentou diferença estatisticamente significativa quando comparado aos demais.

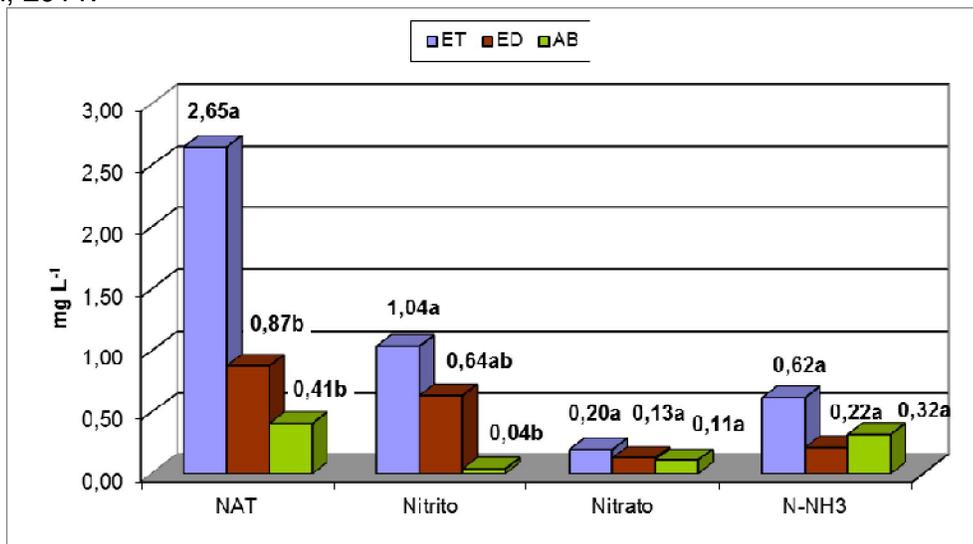
Para o nitrito, os resultados foram: no tratamento ET, igual a  $1,04 \pm 0,72 \text{ mg L}^{-1}$ , apresentando diferença estatisticamente significativa em relação ao tratamento AB, que foi de  $0,04 \pm 0,05 \text{ mg L}^{-1}$ . Por sua vez, o resultado do tratamento ED foi de  $0,64 \pm 0,49 \text{ mg L}^{-1}$ , não apresentando diferença estatisticamente significativa quando comparado aos outros dois.

Em relação ao nitrato, não houve diferença estatisticamente significativa entre os três tratamentos experimentais testados, sendo os valores para: tratamento ET, igual a  $0,20 \pm 0,17 \text{ mg L}^{-1}$ ; tratamento ED, de  $0,13 \pm 0,11 \text{ mg L}^{-1}$ , e  $0,11 \pm 0,09 \text{ mg L}^{-1}$  para o tratamento AB.

Para amônia não-ionizada ( $\text{NH}_3$ ), os valores médios foram:  $0,62 \pm 0,53 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $0,22 \pm 0,20 \text{ mg L}^{-1}$  e  $0,32 \pm 0,13 \text{ mg L}^{-1}$ , para os tratamentos ET, ED e AB, respectivamente, não apresentando diferença estatisticamente significativa entre eles.

Na Figura 24 podem-se observar os resultados médios de nitrogênio amoniacal total (NAT), nitrito, nitrato e amônia não-ionizada ( $\text{N-NH}_3$ ) (todos expressos em  $\text{mg L}^{-1}$ ) dos três tratamentos experimentais.

Figura 24 - Representação gráfica dos valores médios de NAT ( $\text{mg L}^{-1}$ ), nitrito ( $\text{mg L}^{-1}$ ), nitrato ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e  $\text{N-NH}_3$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta; NAT: Nitrogênio amoniacal total;  $\text{N-NH}_3$ : Amônia não-ionizada.

Letras diferentes dentro dos valores médios de cada parâmetro dos tratamentos indicam diferença estatisticamente significativa.

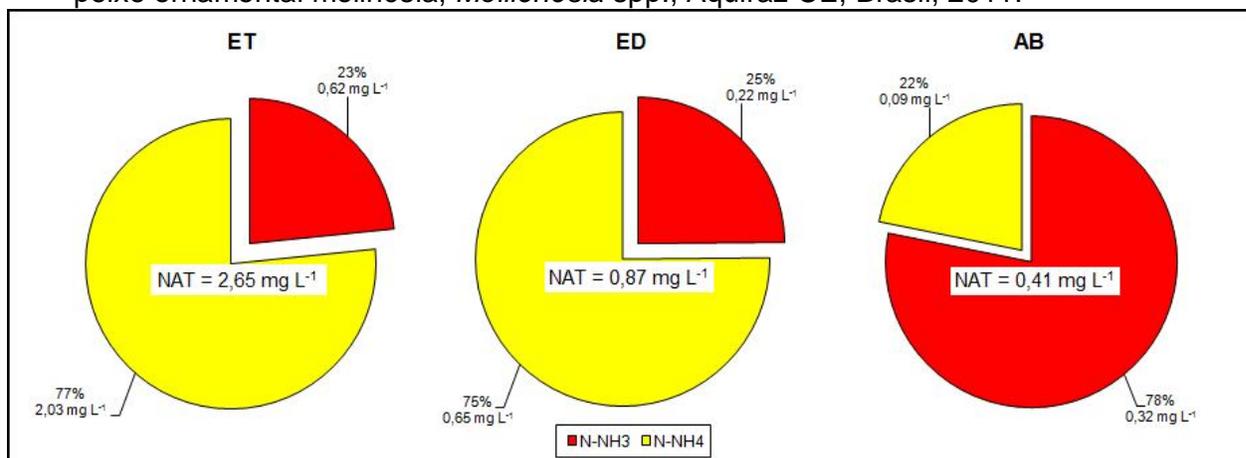
Fonte: Autor (2011).

A nitrificação é o processo de transformação da amônia em nitrato, tendo o nitrito como produto intermediário deste processo (NUVOLARI, 2003). Na Figura 23 pode ser observado que apenas no tratamento AB o processo de nitrificação está sendo realizado de forma eficiente, pois a concentração de nitrato foi maior que a de nitrito. Isto ocorreu pela disponibilidade de oxigênio dissolvido (OD) neste tratamento, diferente dos demais, em que as concentrações médias de OD ficaram abaixo dos valores indicados para aquicultura.

Segundo Colt (2006), a toxicidade da amônia é geralmente associada à concentração da amônia não-ionizada ( $\text{NH}_3$ ), devido sua capacidade de se mover através das membranas celulares. O mesmo autor relata que o pH é o fator que mais influencia na definição da parcela de amônia não-ionizada presente na amônia total.

O fato anteriormente citado pode ser claramente visualizado no presente experimento. Na Figura 25 podem-se observar as quantidades relativas de amônia não-ionizada ( $\text{NH}_3$ ) e da amônia ionizada ( $\text{NH}_4$ ) presentes no nitrogênio amoniacal total (NAT) em cada um dos três tratamentos experimentais, assim como as respectivas concentrações.

Figura 25 - Representação gráfica das participações relativas e concentrações de  $\text{N-NH}_3$  e  $\text{N-NH}_4$  no NAT da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollinnesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta;  $\text{N-NH}_3$ : Amônia não-ionizada;  $\text{N-NH}_4$ : Amônia ionizada; NAT: Nitrogênio amoniacal total.

Fonte: Autor (2011).

Confrontado os resultados obtidos de NAT e N-NH<sub>3</sub> com os de pH, observa-se que, mesmo o tratamento AB apresentando o menor resultado de NAT (0,41 mg L<sup>-1</sup>), tem o seu respectivo N-NH<sub>3</sub> (0,32 mg L<sup>-1</sup>) que equivale a 78% de toda amônia presente no meio, ficando a concentração maior que a ocorrida no tratamento ED. Este fato ocorreu pelo efeito do pH na relação entre as partes de amônia, pois no tratamento AB o pH foi o mais alto (9,68) dentre os tratamentos experimentais, convertendo grande parte da amônia à sua forma não-ionizada.

Nos tratamentos ET e ED, a proximidade dos valores de pH converteram, conseqüentemente, porcentagens semelhantes do nitrogênio amoniacal total em amônia não-ionizada, 23% e 25%, respectivamente. No entanto, as concentrações de N-NH<sub>3</sub> foram bem distintas, conforme as condições ambientais de cada tratamento, respectivamente, 0,62 e 0,22 mg L<sup>-1</sup> para os tratamentos ET e ED.

Pillay (1992) recomenda, para exposição curta, que a concentração de amônia não-ionizada seja mantida na faixa 0,6 a 2,0 mg L<sup>-1</sup>, dependendo da espécie. Já para exposição por grandes períodos de tempo, o mesmo autor recomenda como concentração máxima desta espécie química de amônia valor inferior a 0,1 mg L<sup>-1</sup>.

Desta forma, os valores obtidos neste experimento estão acima da faixa recomendada para grandes períodos de exposição, porém apropriados aos valores de curta exposição. As concentrações de amônia não-ionizada sofrem variações diárias. Assim, os resultados obtidos agiram como fator estressante aos peixes e não como limitante ao cultivo, não sendo este parâmetro causador de mortalidade expressiva.

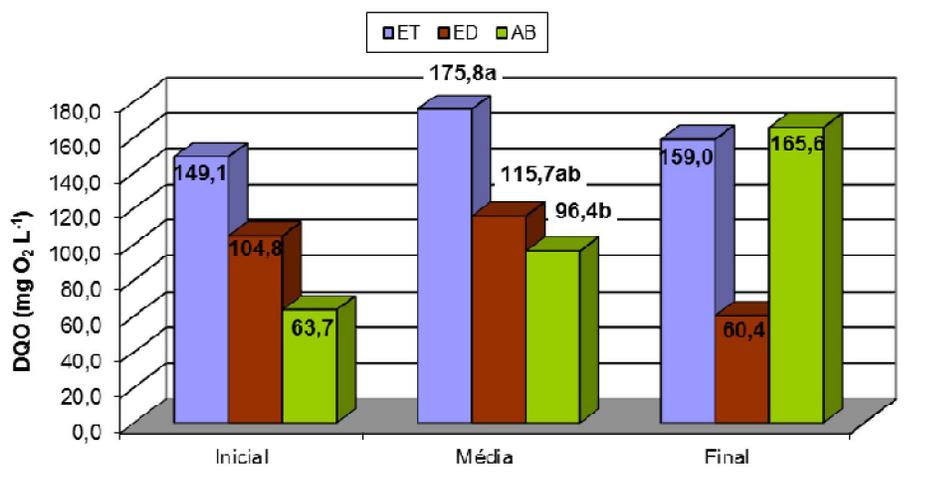
#### **4.1.6. Demanda Química de Oxigênio**

Os resultados médios da demanda química de oxigênio (DQO) das águas de cultivo dos três tratamentos experimentais apresentaram-se em ordem decrescente, sendo o valor mais alto do tratamento ET (175,77 ± 42,10 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>), seguido pelo tratamento ED (115,67 ± 37,35 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) e este pelo tratamento AB (96,36 ± 43,77 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>). O resultado do tratamento ET apresentou diferença estatisticamente

significativa quando comparado ao do tratamento AB. Por sua vez, o tratamento ED não apresentou diferença estatisticamente significativa quando comparado aos outros dois.

Na Figura 26 é possível observar os valores iniciais, as médias e os valores finais de demanda química de oxigênio (DQO) para os três tratamentos experimentais.

Figura 26 - Representação gráfica dos valores iniciais, médios e finais de DQO ( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ ) da água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.  
Letras diferentes dentro dos valores médios dos tratamentos indicam diferença estatisticamente significativa.

Fonte: Autor (2011).

É possível observar que no tratamento ET o valor inicial medido foi de 149,1  $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ , enquanto que o valor final foi de 159,0  $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ . Esta diferença implica em um acréscimo de apenas 6,6% na quantidade de matéria orgânica presente na água após um ciclo de cultivo.

No tratamento ED, a concentração inicial de DQO foi de 104,8  $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  e a concentração final foi de 60,4  $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ , implicando em uma remoção de 42,4% da DQO presente na água, após um ciclo de cultivo experimental. Em contraponto a este resultado, apresenta-se o tratamento AB, no qual a concentração de DQO na água foi aumentando no decorrer do cultivo, sendo o valor inicial 63,7  $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$  e o final 165,6  $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ , ocasionando um acréscimo de 160% na concentração de DQO.

#### 4.2. Avaliação Qualitativa da Comunidade Fitoplanctônica

Nas análises realizadas nas amostras de água dos três tratamentos experimentais, foram identificados organismos fitoplanctônicos de dezoito (18) táxons divididos em seis (06) classes. Destas, as mais representativas foram: *Chlorophyceae*, com sete (07) gêneros identificados; e *Cyanophyceae*, com cinco (05) gêneros identificados. Estas duas classes foram também as únicas identificadas nas amostras de água dos três tratamentos experimentais.

Na Tabela 16 está exposta a matriz contendo as classes e táxons do fitoplâncton, os quais foram identificados nos três tratamentos experimentais testados. Estão marcados com “X” os tratamentos experimentais em que foi registrada a incidência de cada organismo identificado.

Tabela 16 - Gêneros e táxons do fitoplâncton identificado na água de cultivo dos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental *Mollinnesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.

CLASSE	TÁXON	Tratamentos Experimentais		
		ET	ED	AB
<b>BACILLARIOPHYCEAE</b>	<i>Aulacoseira granulata</i>		X	X
	<i>Fragilaria</i> sp		X	
<b>CYANOPHYCEAE</b>	<i>Anabaena</i> sp		X	X
	<i>Geitlerinema</i> sp			X
	<i>Merismopedia</i> sp		X	X
	<i>Microcystis</i> sp			X
	<i>Planktothrix</i> sp	X	X	
<b>CHLAMYDOPHYCEAE</b>	<i>Chlamydomonas</i> sp	X		
<b>CHLOROPHYCEAE</b>	<i>Crucigeniella</i> sp		X	X
	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>		X	X
	<i>Dictyosphaerium</i> sp			X
	<i>Lagerheimia</i> sp			X
	<i>Monoraphidium contortum</i>	X		
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>			X
	<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i>	X		
<b>EUGLENOPHYCEAE</b>	<i>Phacus</i> sp	X		
	<i>Euglena</i> sp	X	X	
<b>ZIGNEMAPHYCEAE</b>	<i>Closterium</i> sp	X	X	

ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.

Fonte: Autor (2011).

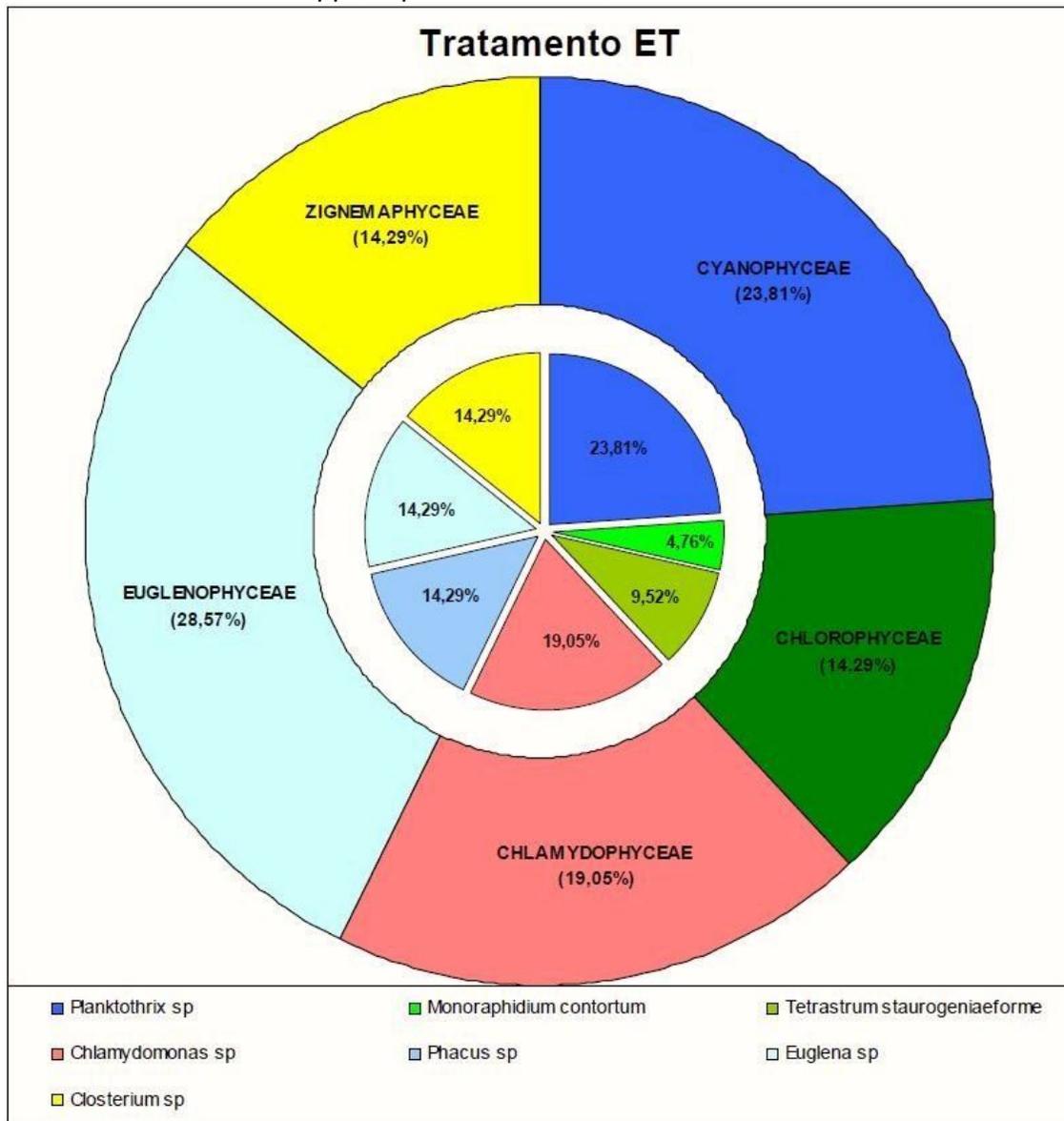
O Tratamento ET foi o que apresentou cinco classes entre as seis ocorridas. No entanto, quando se verifica a diversidade de táxons, este tratamento foi o que apresentou a menor quantidade, sete táxons identificados.

No Tratamento ED foram identificados organismos de cinco classes diferentes, sendo registrada a ocorrência de nove táxons. Já o Tratamento AB foi o que apresentou menor diversidade de classe entre os tratamentos, no qual foram identificadas apenas três classes das seis ocorridas. No entanto, foi o que apresentou maior número de táxons; dez foram identificados dos dezoito táxons observados.

A distribuição de diversidade de táxons ocorrida nos tratamentos, onde, a menor diversidade esta presente no tratamento ET, sendo seguido pelo tratamento ED, e a maior diversidade estando no tratamento AB era esperada, pois, quanto mais agressivo o ambiente menor é o número de espécies adaptadas a esta condição. Azevedo (1998) diz que uma rápida resposta que ocorre com a eutrofização é dada pela comunidade fitoplanctônica, que apresenta um decréscimo na diversidade de espécies.

Na Figura 27 está representada a frequência relativa de aparecimento (FRA) das classes e táxons identificados na água de cultivo do tratamento experimental ET. No gráfico de anel pode ser observada a classe e a respectiva FRA (%); no gráfico de setores estão expostas as FRA dos táxons observados equivalentes às classes expostas, os quais têm sua identificação indicada na legenda constante na parte inferior da figura.

Figura 27 - Frequência relativa de aparecimento (%) de gêneros e táxons do fitoplâncton identificado na água do tratamento ET no cultivo experimental do peixe ornamental *Mollinnesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



ET: Abastecido com esgoto tratado.

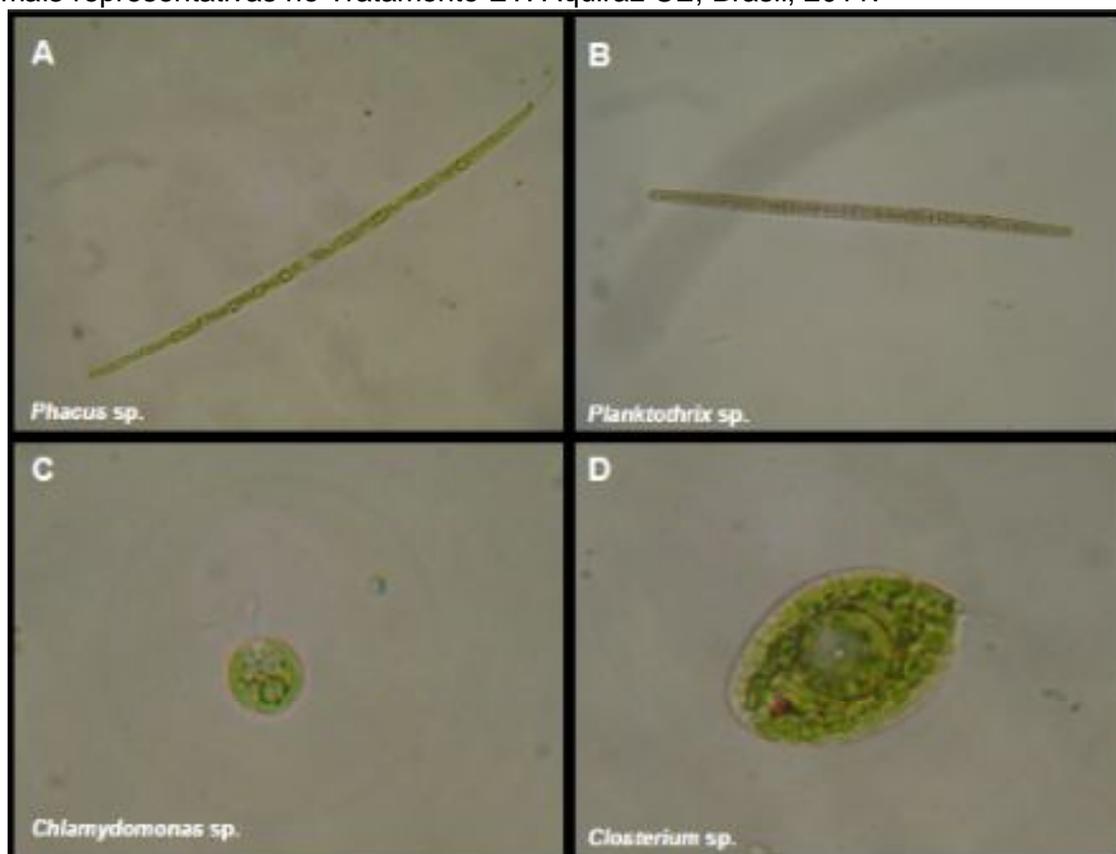
Fonte: Autor (2011).

A classe dominante no Tratamento ET foi a *Euglenophyceae*, apresentando FRA de 28,57%, sendo dividida igualmente em dois gêneros, *Euglena* sp. e *Phacus* sp., seguida pela *Cyanophyceae*, com FRA de 23,81%, representada por apenas um gênero, *Planktothrix* sp. A terceira classe de maior representatividade neste tratamento foi *Chlamydomonadales*, com FRA de 19,05%, estando representada por apenas um táxon, *Chlamydomonas* sp.

Com a mesma FRA (14,29%), em quarto lugar, ficaram as classes *Zignemaphyceae*, representada em sua totalidade pelo gênero *Closterium* sp.; e *Chlorophyceae*, representada por dois táxons, *Tetrastrum staurogeniaeforme* (9,52%) e *Monoraphidium contortum* (4,76%).

Na Figura 28 são mostradas as imagens de alguns organismos identificados de cada uma das quatro classes com maior ocorrência no Tratamento ET.

Figura 28 - Fotografias de amostras de organismos das classes: *Euglenophyceae* (A), *Cyanophyceae* (B), *Chlamydomonadales* (C) e *Zignemaphyceae* (D); que foram as mais representativas no Tratamento ET. Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Fonte: Autor (2011).

O tratamento ET foi o que recebeu apenas esgoto doméstico tratado em um sistema de lagoas de estabilização, sendo pertinente a grande incidência da classe *Euglenophyceae*, pois a presença das algas desta classe é característica de coleções de água com níveis elevados de compostos orgânicos solúveis (ESTEVES, 1998; REVIERS, 2006; BELLINGER; SIGEE, 2010). Como pode ser encontrado em

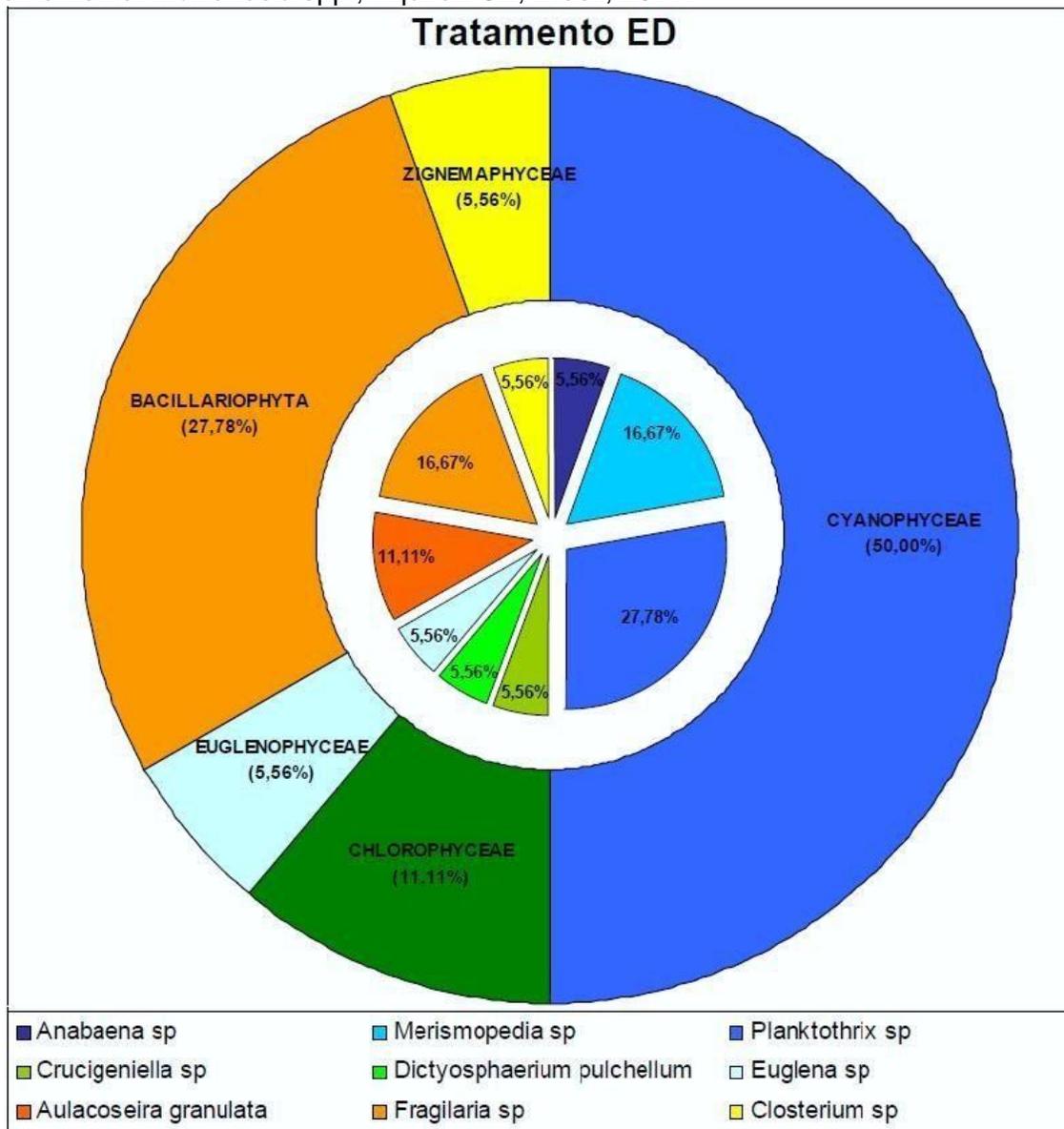
sistemas de lagoas de estabilização. Desta forma, esse grupo pode ser utilizado como um bioindicador de poluição por matéria orgânica.

As algas da classe *Zignemaphyceae* são organismos utilizados como alimento em aquicultura e como indicadores de qualidade de água (pelo estudo das associações das desmídias, por exemplo) (REVIERS, 2006).

A classe *Chlamidophyceae* geralmente não é mais reconhecida distintamente, sendo incluída na *Chlorophyceae*. A *Chlamidophyceae* era originalmente formada pelas algas das ordens *Dunaliellales*, *Chlamydomonadales* e *Volvocales* (REVIERS, 2006). Neste trabalho, apenas algas do gênero *Chlamydomonas* foram identificadas, optando-se pelo uso da classe *Chlamydomophyceae* para classificar estas algas, sendo relatadas separadamente da classe *Chlorophyceae*.

Na Figura 29 apresenta-se a frequência relativa de aparecimento (FRA) das classes e táxons identificados na água de cultivo do tratamento experimental ED. No gráfico de anel pode ser observada a classe e a respectiva FRA (%); no gráfico de setores estão expostas as FRA dos táxons observados equivalentes às classes expostas, os quais têm sua identificação indicada na legenda da parte inferior da figura.

Figura 29 - Frequência relativa de aparecimento (%) de gêneros e táxons do fitoplâncton identificado na água do tratamento ED no cultivo experimental do peixe ornamental *Mollinnesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



ED: Abastecido com esgoto tratado diluído.  
 Fonte: Autor (2011).

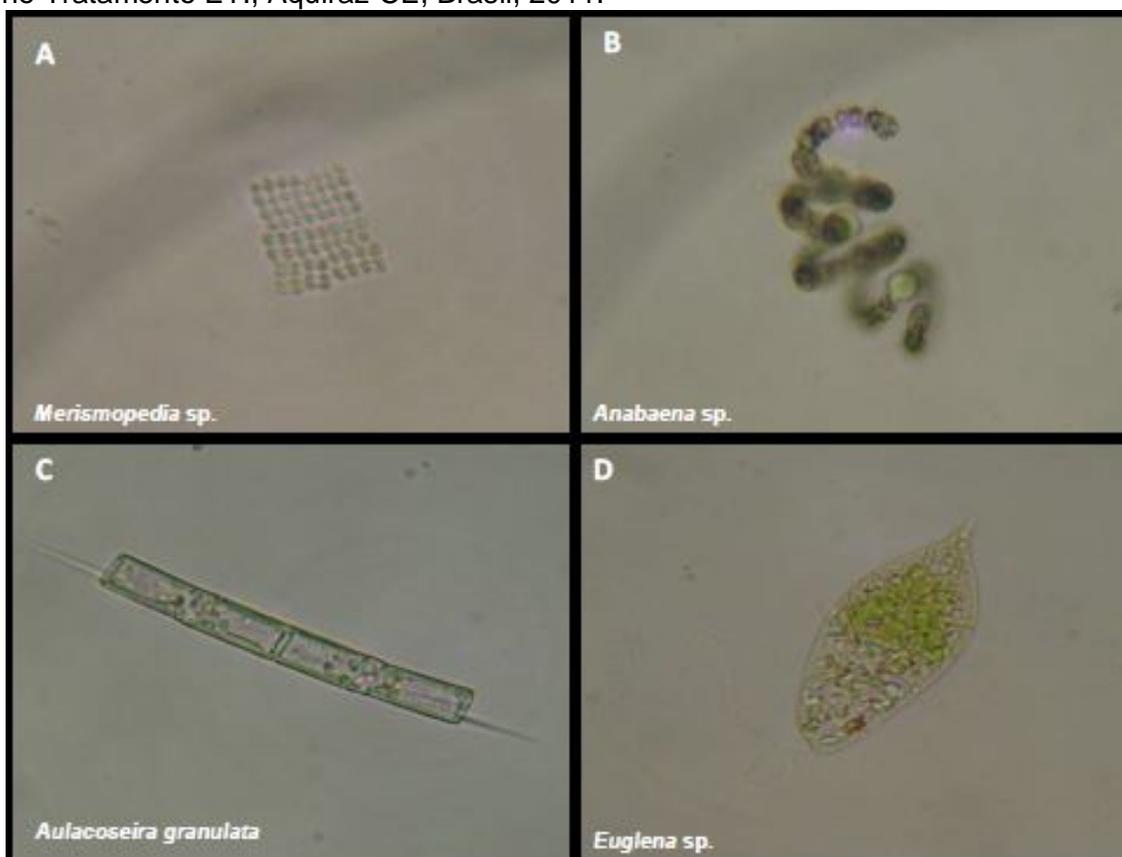
A classe dominante no Tratamento ED foi a *Cyanophyceae*, com FRA de 50,0%, sendo a participação dividida entre três gêneros: *Planktothrix* sp., com participação de 27,78%; *Merismopedia* sp., com FRA de 16,67%; e *Anabaena* sp., com 5,56%. A segunda classe com maior participação foi a *Bacillariophyceae*, com FRA de 27,78%, dividida entre os táxons *Flagilaria* sp. (16,67%) e *Aulacoseira granulata* (11,11%). Esta foi seguida pela classe *Chlorophyceae*, com FRA de

11,11%, dividida igualmente entre os táxons *Crucigeniella* sp. e *Dictyosphaerium pulchellum*.

É válido salientar a pequena participação da classe *Euglenophyceae* (5,56%) neste tratamento, em relação ao Tratamento ET (14,29%). Como citado anteriormente, a presença desta alga é indicativo de poluição orgânica. Sendo possível concluir que a água do Tratamento ED é menos poluída que a do Tratamento ET, fato já esperado, pois neste o abastecimento foi realizado com esgoto diluído.

Na Figura 30 mostram-se imagens de alguns organismos identificados no Tratamento ED.

Figura 30 - Fotografias de amostras de organismos das classes: *Cianophyceae* (A e B), *Bacillariophyceae* (C) e *Euglenophyceae* (D); que foram as mais representativas no Tratamento ET., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Fonte: Autor (2011).

É possível observar que o resultado da identificação dos organismos fitoplanctônicos do Tratamento ED confirma que com a eutrofização ocorre o decréscimo na diversidade de espécies fitoplanctônicas (AZEVEDO, 1998). Nesses ambientes, é observado o aumento da dominância de espécies de cianobactérias.

A princípio, todas as cianobactérias são consideradas potencialmente tóxicas (CARMICHAEL *et al.*, 2001). Embora não se conheça claramente a razão da produção das cianotoxinas, assume-se que esses compostos tenham função protetora contra herbivoria, como acontece com alguns metabólitos de plantas vasculares (CARMICHAEL, 1992, *apud* AZEVEDO; VASCONCELOS, 2006).

Apesar desta característica, as cianobactérias fazem parte da dieta natural dos peixes filtradores. Turker; Eversole; Brune (2003) relatam diversos trabalhos que mostram a presença de cianobactérias, como *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Microcystis* e *Phormidium*, no conteúdo estomacal de tilápias.

Diversos trabalhos relatam a presença de cianobactérias na água de viveiros de aquicultura e pesqueiros (SEVRIN-REYSSAC; PLETIKOSIC, 1990; ALONSO-RODRÍGUEZ; PÁEZ-OSUNA, 2003; MATSUZAKI; MUCCI; ROCHA, 2004; LACHI; SIPAÚBA-TAVARES, 2008). Também tem sido pesquisado o uso das cianobactérias como alimentação para os organismos aquáticos cultivados. Jaime-Ceballos *et al.* (2006) relatam o uso da cianofícea *Spirulina platensis* na alimentação de larvas do camarão *Litopennaeus schmitti* em cativeiro.

Depois das bactérias, as diatomáceas são provavelmente os organismos aquáticos de maior distribuição, tendo importante papel como produtores primários (ROUND; CRAWFORD, 1990 *apud* REVIERS, 2006). As diatomáceas têm diversas utilidades, entre as quais é válido citar os usos como bioindicador de qualidade de água continental e como alimento para aquicultura (REVIERS, 2006).

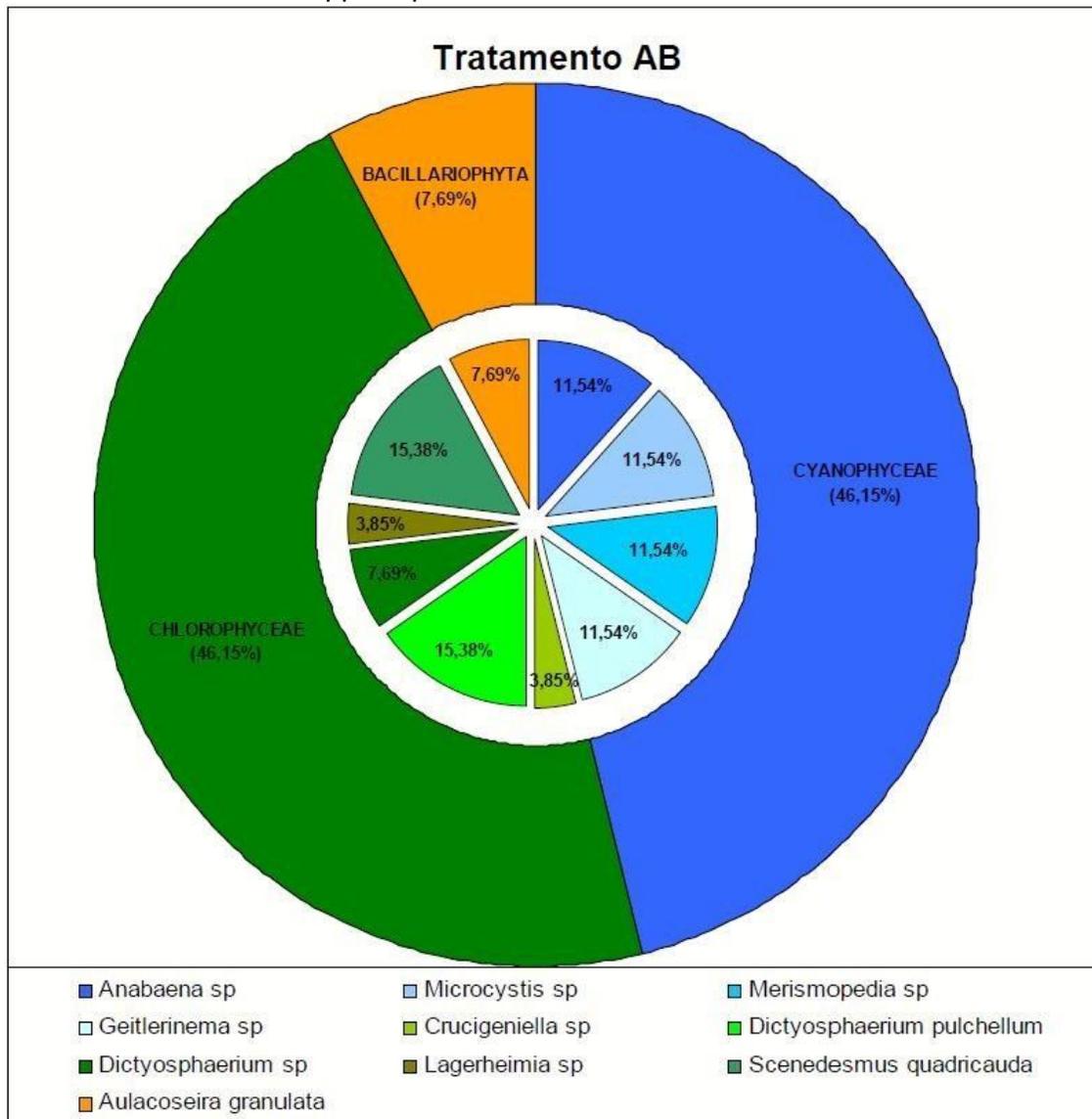
As chaves de identificação definem como característica das diatomáceas a presença de uma carapaça silicosa na parede celular chamada frústula (DOODS, 2002), que é muito importante na alimentação em aquicultura, principalmente de camarões, pois a sílica participa da constituição de seu exoesqueleto.

Os tratamentos experimentais ET e ED foram abastecidos total e parcialmente, respectivamente, com efluente de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) que utiliza a tecnologia de lagoas de estabilização, o que possibilita comparar a microbiota fitoplactônica presente na água de cultivo destes dois tratamentos com a dos efluentes de ETE com tecnologia semelhante.

Zanotelli *et al.* (2002), avaliando o efluente de lagoas facultativas em escala real e piloto, mostraram que a ocorrência de flagelados (*Carteria*, *Chlamydomonas*, *Euglena* e *Trachelomonas*), foi bem menor que da alga verde *Chlorella*, caracterizando um bom nível do tratamento. Do mesmo modo, a presença de diatomáceas indica elevada eficiência do tratamento. A ocorrência de cianobactérias em menor escala que as algas verdes indica baixa toxicidade do efluente (EDWARD, 1992; ZANOTELLI *et al.*, 2002).

Na Figura 31 está representada a frequência relativa de aparecimento (FRA) das classes e táxons identificados na água de cultivo do tratamento experimental AB. No gráfico de anel pode ser observada a classe e a respectiva FRA (%); no gráfico de frequência estão expostas as FRA dos táxons observados equivalentes às classes expostas, os quais têm sua identificação na legenda da parte inferior da figura.

Figura 31 - Frequência relativa de aparecimento (%) de gêneros e táxons do fitoplâncton identificado na água do tratamento AB no cultivo experimental do peixe ornamental *Mollienesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



AB: Abastecido com água bruta.

Fonte: Autor (2011).

Como anteriormente citado, o Tratamento AB apresentou apenas três classes de microalgas, distribuídas da seguinte maneira:

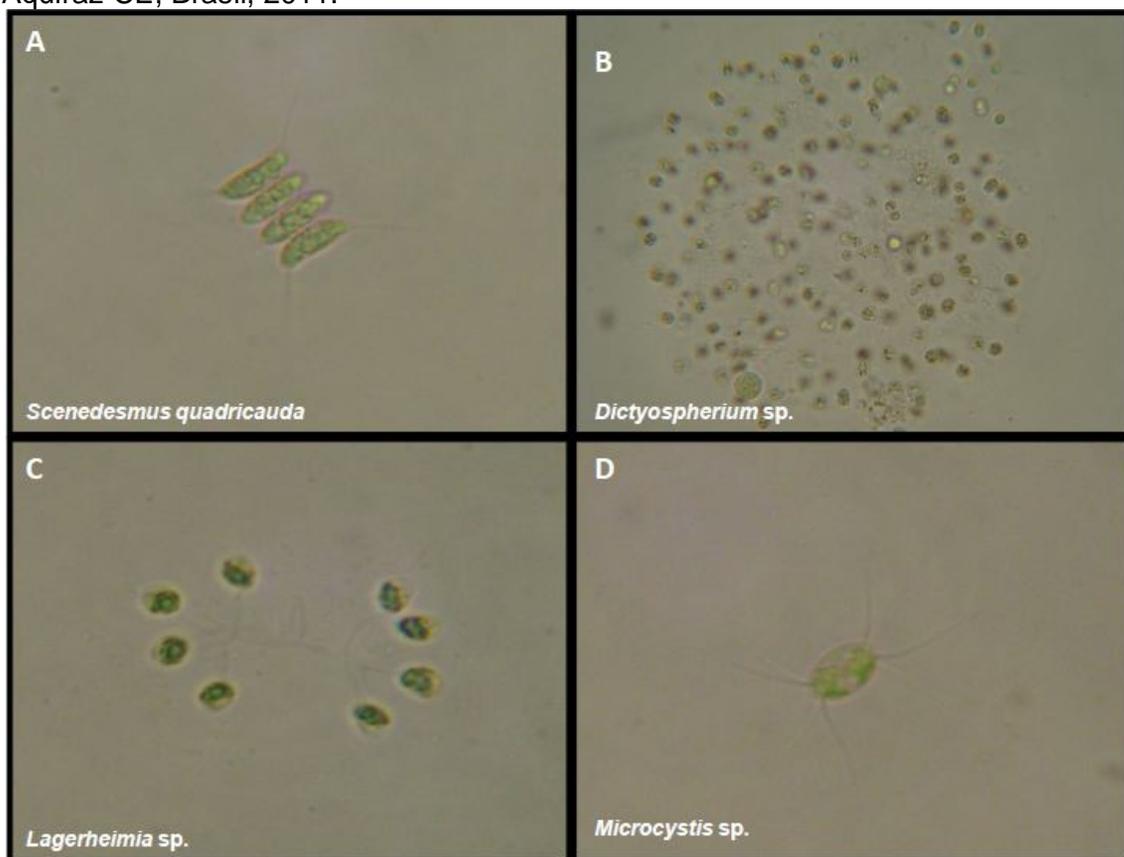
- i. *Chlorophyceae*, com FRA de 46,15%; foi a classe que apresentou maior quantidade de táxons identificados, cinco táxons, onde a *Dictyosphaerium pulchellum* e *Scenedesmus quadricauda* foram as que mais foram observadas,

ambas com FRA de 15,38%. As outras algas identificadas foram a *Dictyosphaerium* sp., com FRA de 7,69%, a *Crucigeniella* sp. e a *Lagerheimia* sp., ambas apresentando FRA de 3,85%.

- ii. *Cyanophyceae*, com FRA de 46,15%, teve representatividade igual à da classe *Chlorophyceae*, no entanto, dividida em quatro gêneros com a mesma FRA (11,54%): *Anabaena* sp., *Geitlerinema* sp., *Merismopedia* sp. e *Microcystis* sp.
- iii. *Bacillariophyceae*, com FRA de 7,69%, representada pela única espécie *Alacoseira granulata*.

Na Figura 32 constam as imagens de alguns organismos identificados das duas classes com maior ocorrência no Tratamento AB.

Figura 32 - Fotografias de amostra de organismos das classes: *Chlorophyceae* (A, B e C) e *Cianophyceae* (D); que foram as mais representativas no Tratamento AB., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Fonte: Autor (2011).

Uma grande variedade de microalgas, incluindo a clorofícea *Scenedesmus*, tem sido estudada pela eficácia de sua aplicação como recurso biológico na

alimentação de peixes, suplementação de nutrientes para humanos, em produtos farmacêuticos e também para a biorremediação de água poluída (BELAY *et al.*, 1993 *apud* KIM *et al.*, 2007; ADAMSSOM, 2000; CHONG *et al.*, 2000 *apud* KIM *et al.*, 2007).

Martínez (1989) *apud* Trujillo-Jiménez; Beto (2007) menciona que o *Poecilia sphenops* do reservatório Zicuirán (México) mostra hábito alimentar tipicamente filtrador e raspador, pois sua dieta é composta por elementos do fitoplâncton, algas filamentosas e perifíton, contribuindo com até um sexto do total de alimento consumido.

Avaliando o conteúdo do trato digestório do *P. sphenops*, apresentou organismos da classe *Chloroficeae*, representada pelos táxons *Oedogonium* sp. e *Cladophora fracta*; *Zignemaphyceae*, com *Spirogyra* sp.; e *Ciahophyceae*, com *Schizootrix* sp. (TRUJILLO-JIMÉNEZ; BETO, 2007).

Com a avaliação da comunidade fitoplanctônica, foi possível observar o estabelecimento da comunidade de cianobactérias nos três tratamentos experimentais. Este fato pode ser explicado pela elevada capacidade adaptativa deste grupo às mais diversas condições ambientais.

### **4.3. Acompanhamento das Biometrias e Curvas de Crescimento**

Durante o decorrer do cultivo, foram realizadas quatro biometrias para o acompanhamento do desenvolvimento dos peixes cultivados, os quais foram pesados e medidos. A partir dos dados obtidos, foram traçadas as curvas de crescimento em peso e comprimento, as quais estão expostas nos itens a seguir.

#### **4.3.1. Curva de Crescimento em Peso**

Na Tabela 17 é possível observar os resultados médios e respectivos desvios-padrão de peso médio (g) obtidos nas biometrias realizadas no decorrer do

cultivo. Os resultados das comparações entre as médias dos tratamentos estão representados por meio das letras que as acompanham, sendo que letras diferentes na mesma biometria expressam diferença estatisticamente significativa.

Tabela 17 - Resultados (média  $\pm$  desvio padrão) e o nível de significância, do peso médio (g) obtido nas biometrias realizadas durante o cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.

Dias de Cultivo	Peso médio (g)			p
	ET	ED	AB	
1	0,032 $\pm$ 0,006a	0,033 $\pm$ 0,007a	0,032 $\pm$ 0,004a	0,985
28	0,165 $\pm$ 0,031b	0,315 $\pm$ 0,028a	0,102 $\pm$ 0,015c	0,0001
42	0,290 $\pm$ 0,030b	0,431 $\pm$ 0,057a	0,183 $\pm$ 0,030c	0,0001
56	0,439 $\pm$ 0,091b	0,592 $\pm$ 0,043a	0,269 $\pm$ 0,048b	0,0001

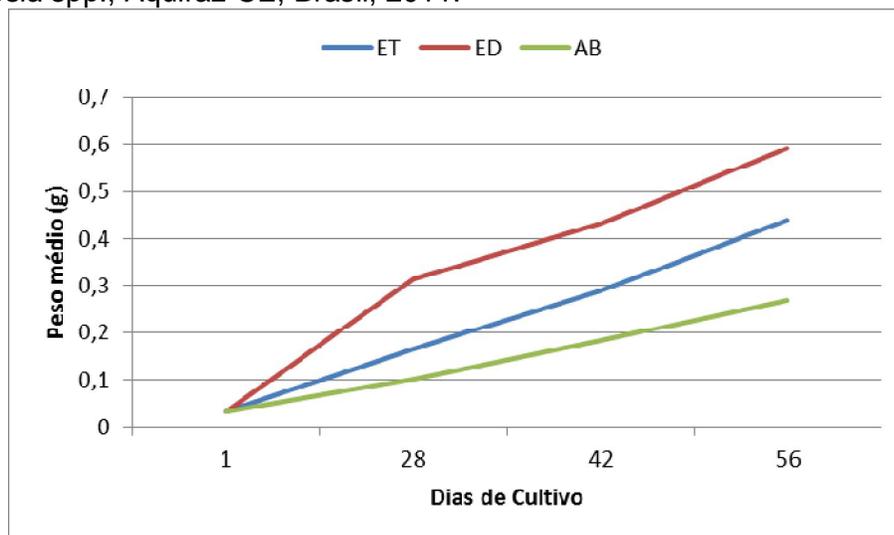
ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta; p: nível de significância.  
Fonte: Autor (2011).

No início do experimento, os pesos médios (g) dos peixes estocados nos três tratamentos não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si. No entanto, no decorrer do cultivo esta situação foi se modificando. Na segunda biometria, aos 28 dias de cultivo, o tratamento ED já apresentava melhor resultado que os demais, com diferença estatisticamente significativa em relação a eles, o que foi mantido até o final do experimento.

Ao final do experimento, apesar do tratamento ET ter sido numericamente bem superior ao AB, 0,439 g e 0,269 g, respectivamente, não houve diferença estatisticamente significativa entre estes.

Na Figura 33 está graficamente representado, pelas curvas de ganho de peso (g), o perfil do incremento de biomassa dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais.

Figura 33 - Representação gráfica da curva do ganho de peso (g) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.  
Fonte: Autor (2011).

#### 4.3.2. Curva de Crescimento em Comprimento

Na Tabela 18 é possível observar os resultados médios e respectivos desvios-padrão do comprimento total (mm) obtidos nas biometrias realizadas no decorrer do cultivo. Os resultados das comparações entre as médias dos tratamentos estão representados pelas letras que as acompanham, sendo que letras diferentes na mesma biometria expressam diferença estatisticamente significativa.

Tabela 18 - Resultados (média  $\pm$  desvio padrão) e o nível de significância, do comprimento total (mm) obtido nas biometrias realizadas durante o cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.

Dias de Cultivo	Comprimento total (mm)			p
	ET	ED	AB	
1	12,6 $\pm$ 2,50a	12,5 $\pm$ 1,81a	12,0 $\pm$ 1,79a	0,6966
28	19,7 $\pm$ 4,82b	24,8 $\pm$ 4,38a	17,9 $\pm$ 3,74b	0,0001
42	22,9 $\pm$ 4,13b	29,6 $\pm$ 5,32a	21,0 $\pm$ 3,37b	0,0001
56	27,9 $\pm$ 4,11c	35,2 $\pm$ 5,57a	30,5 $\pm$ 5,57b	0,0001

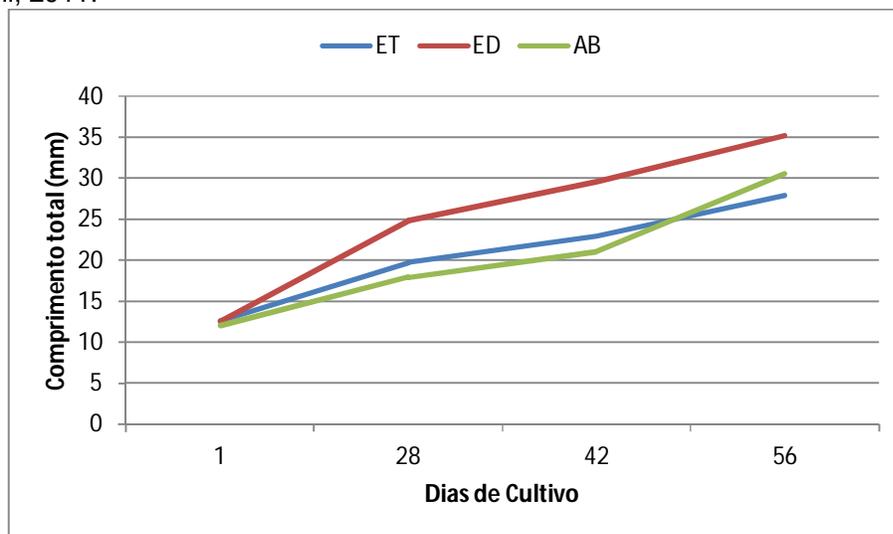
ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta; p: nível de significância.  
Fonte: Autor (2011).

Em relação ao comprimento total (mm) dos peixes estocados nos tratamentos experimentais, não houve diferença estatisticamente significativa. No entanto, a partir da segunda biometria (28 dias de cultivo) o resultado do tratamento ED já era superior aos demais, apresentando diferença estatisticamente significativa, desempenho que foi mantido até o final do experimento.

O tratamento AB terminou o cultivo com valor superior ao ET, 30,5 e 27,9 mm respectivamente, apresentando diferença estatisticamente significativa. Desta forma, em relação ao comprimento total, todos os tratamentos diferiram entre si.

Na Figura 34 está representado, pelas curvas de crescimento (mm), o perfil do aumento de tamanho dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais testados.

Figura 34 - Representação gráfica da curva de crescimento (mm) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia spp.*, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.  
Fonte: Autor (2011).

#### 4.4. Acompanhamento dos Parâmetros de Rendimento Zootécnico

Na Tabela 19 é possível observar os resultados médios e respectivos desvios-padrão dos parâmetros zootécnicos obtidos na avaliação de rendimento do cultivo dos três tratamentos experimentais testados. Os resultados das comparações

entre as médias dos tratamentos estão representados pelas letras que os acompanham, sendo que letras diferentes dentro de um mesmo parâmetro expressam diferença estatisticamente significativa.

Tabela 19 - Duração do cultivo (dias), resultados (média  $\pm$  desvio padrão) e o nível de significância, dos principais parâmetros zootécnicos obtidos ao final do cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.

PARÂMETROS ZOOTÉCNICOS	Tratamentos Experimentais			p
	ET	ED	AB	
Dias de cultivo	56	56	56	#
Comprimento final (mm)	27,9 $\pm$ 4,11c	35,2 $\pm$ 5,57a	30,5 $\pm$ 5,57b	0,0001
Crescimento (mm)	15,3 $\pm$ 4,11c	22,7 $\pm$ 5,57a	18,5 $\pm$ 5,57b	0,0001
CD (mm dia <sup>-1</sup> )	0,273 $\pm$ 0,073b	0,397 $\pm$ 0,115a	0,323 $\pm$ 0,110b	0,0001
Peso final (g)	0,439 $\pm$ 0,091b	0,592 $\pm$ 0,043a	0,269 $\pm$ 0,048b	0,0001
Ganho de Peso (g)	0,407 $\pm$ 0,091b	0,559 $\pm$ 0,043a	0,237 $\pm$ 0,048b	0,0001
GPD (g dia <sup>-1</sup> )	0,007 $\pm$ 0,002b	0,010 $\pm$ 0,001a	0,004 $\pm$ 0,001c	0,0001
TCE (% do peso dia <sup>-1</sup> )	4,63 $\pm$ 0,44b	5,15 $\pm$ 0,13a	3,78 $\pm$ 0,33b	0,0001

ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto tratado diluído; AB: Água bruta; GPD: Ganho de peso diário; TCE: Taxa de crescimento específico; CD: Crescimento diário.

Fonte: Autor (2011).

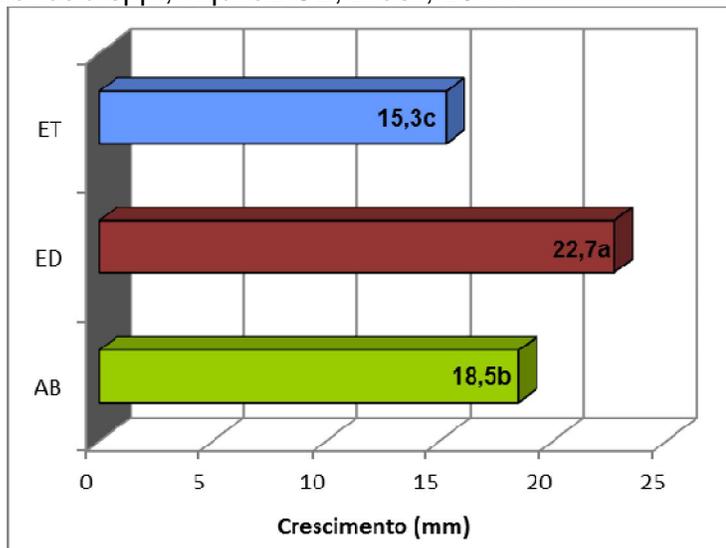
Os resultados dos principais parâmetros de rendimento zootécnico avaliados no presente experimento estão comentados a seguir, sendo enfocadas as principais características dos mesmos para a definição do melhor tratamento experimental.

#### 4.4.1. Crescimento (mm) e Crescimento Diário (mm dia<sup>-1</sup>)

Na avaliação do crescimento (mm) dos peixes cultivados, o tratamento ED apresentou a maior média final (22,7  $\pm$  5,57 mm), seguido pelo tratamento AB (18,5  $\pm$  5,57 mm) e este pelo tratamento ET (15,3  $\pm$  4,11 mm). Os tratamentos apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si.

Na Figura 35 está representada a média do crescimento (mm) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais.

Figura 35 - Representação gráfica dos valores médios finais de crescimento (mm) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.

Letras diferentes dentro dos valores médios dos tratamentos indicam diferença estatisticamente significativa.

Fonte: Autor (2011).

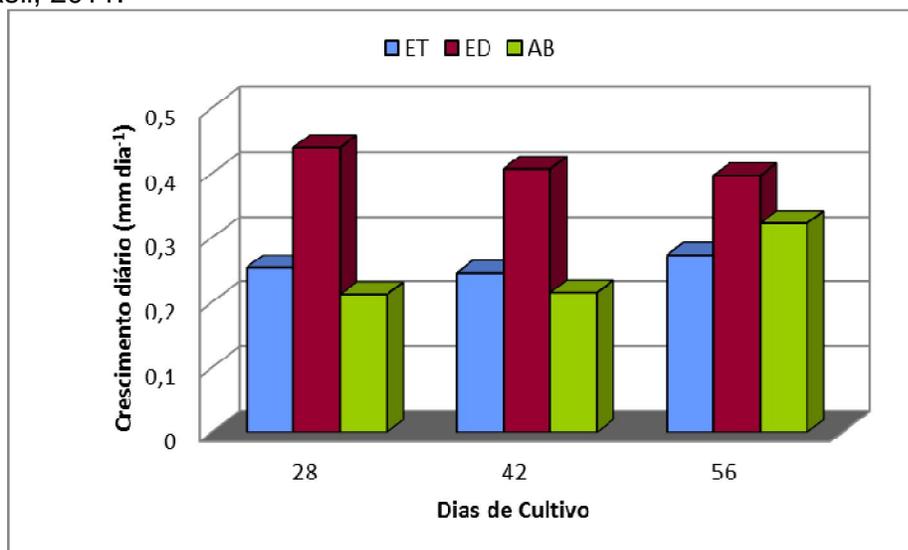
A avaliação do crescimento diário ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) utilizando os resultados obtidos nas quatro biometrias mostra o crescimento dos peixes no decorrer do cultivo, podendo ser verificado o padrão para cada tratamento, assim como serve para identificar o momento em que ocorreram mudanças nas tendências dos resultados no decorrer do cultivo, possibilitando realizar associações com outros fatores que estejam sendo monitorados.

O tratamento ED apresentou crescimento diário com leve tendência decrescente no decorrer do cultivo, sendo este comportamento natural, pois quanto maior o peixe menor é sua taxa de crescimento. Já os tratamentos AB e ET tenderam a aumentar os resultados de crescimento diário na época da última biometria (56 dias), sendo o primeiro ainda mais acentuado que o segundo.

Este comportamento pode indicar a ocorrência de mortalidade neste período, pois, com a redução da biomassa estocada, a capacidade de suporte do ambiente torna-se ociosa, favorecendo o crescimento dos peixes sobreviventes.

Na Figura 36 pode ser observada a representação gráfica do crescimento diário ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) da segunda à quarta biometria.

Figura 36 - Representação gráfica dos valores médios de crescimento diário ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp. durante as biometrias realizadas, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; Água bruta.  
Fonte: Autor (2011).

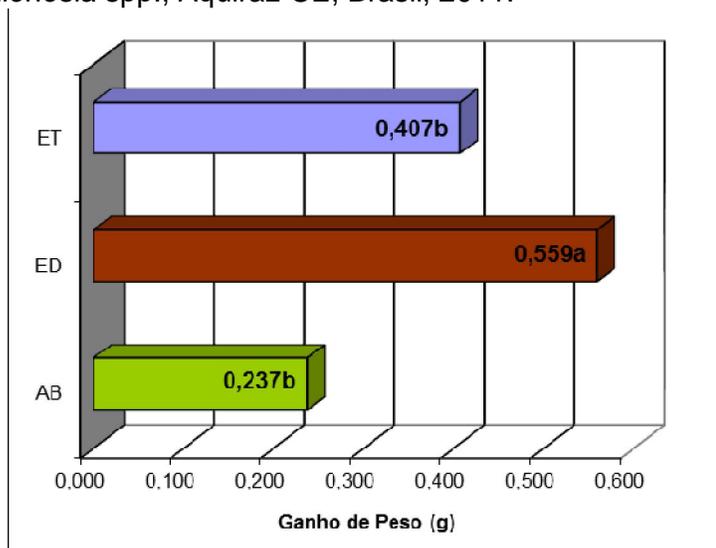
#### 4.4.2. Ganho de Peso (g) e Ganho de Peso Diário ( $\text{g dia}^{-1}$ )

Os peixes cultivados no tratamento ED obtiveram o maior ganho de peso médio,  $0,559 \pm 0,043$  g, quando comparado aos outros tratamentos testados, apresentando diferença estatisticamente significativa.

O tratamento ET apresentou ganho de peso médio final de  $0,407 \pm 0,091$  g e no tratamento AB foi de  $0,237 \pm 0,048$  g. Apesar do primeiro apresentar valor absoluto bem maior que o segundo, estes não apresentaram diferença estatisticamente significativa.

Na Figura 37 está representada a média do ganho de peso (g) dos peixes, ao final do cultivo, nos três tratamentos experimentais testados.

Figura 37 - Representação gráfica dos valores médios finais do ganho de peso (g) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; Água bruta.  
 Letras diferentes dentro dos valores médios dos tratamentos indicam diferença estatisticamente significativa.  
 Fonte: Autor (2011).

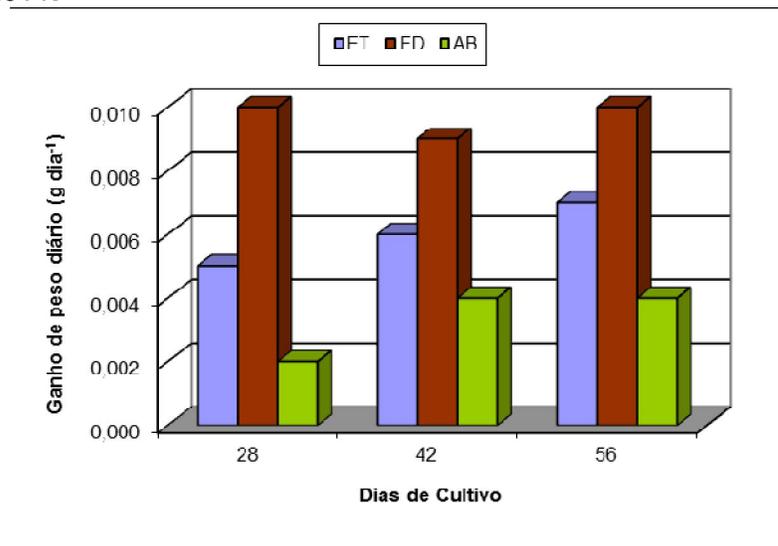
A avaliação do ganho de peso diário (GPD) também foi realizada utilizando os resultados obtidos nas quatro biometrias.

O tratamento ED apresenta GPD superior aos demais e praticamente constante em todo o decorrer do cultivo. Observa-se uma leve queda no rendimento aos 42 dias de cultivo, com recuperação já na biometria seguinte. No tratamento ET observa-se o crescimento constante nos valores de GPD. Por outro lado, no tratamento AB, o aumento no ganho de peso ocorreu até a biometria dos 42 dias e então manteve-se constante aos 56 dias.

Estes resultados reforçam a hipótese da ocorrência de mortalidade, onde é possível supor que no tratamento ET a mortalidade foi maior, dando condição a um maior ganho de peso dos peixes neste tratamento, enquanto que no tratamento AB a mortalidade foi menor, não tendo tanta margem para acréscimo da biomassa estocada. Serão comentados, no item 4.4.4., a seguir os resultados de sobrevivência, que reforçam esta hipótese.

Na Figura 38 pode ser observada a representação gráfica do GPD ( $\text{g dia}^{-1}$ ) da segunda à quarta biometria, para os três tratamentos testados.

Figura 38 - Representação gráfica dos valores médios do ganho de peso diário ( $\text{g dia}^{-1}$ ) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp. durante as biometrias realizadas, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



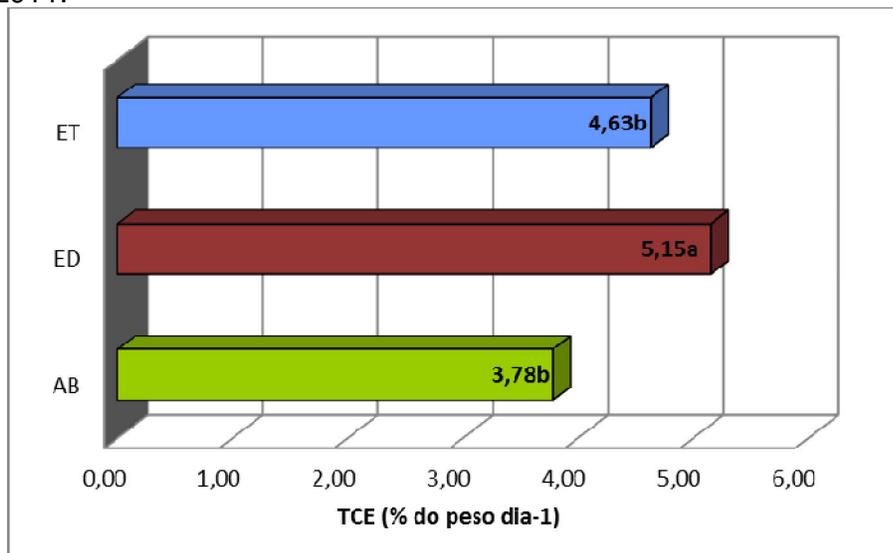
Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.  
Fonte: Autor (2011).

#### 4.4.3. Taxa de Crescimento Específico (% do peso corpóreo dia<sup>-1</sup>)

Os resultados obtidos para a taxa de crescimento específico (TCE) seguiram o mesmo comportamento dos resultados de ganho de peso anteriormente descritos. O tratamento ED foi o que obteve maior TCE média ( $5,15 \pm 0,13$  % do peso dia<sup>-1</sup>), com diferença estatisticamente significativa em relação aos demais. Apesar da diferença de valores entre o tratamento ET ( $4,63 \pm 0,44$  % do peso dia<sup>-1</sup>), e o AB ( $3,78 \pm 0,33$  % do peso dia<sup>-1</sup>) não houve diferença estatisticamente significativa entre estes.

Na Figura 39 está representada a taxa de crescimento específica (% do peso dia<sup>-1</sup>) média dos peixes, ao final do cultivo, nos três tratamentos experimentais.

Figura 39 - Representação gráfica dos valores médios finais da taxa de crescimento específico (% do peso corpóreo dia<sup>-1</sup>) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; Água bruta.

Letras diferentes dentro dos valores médios dos tratamentos indicam diferença estatisticamente significativa.

Fonte: Autor (2011).

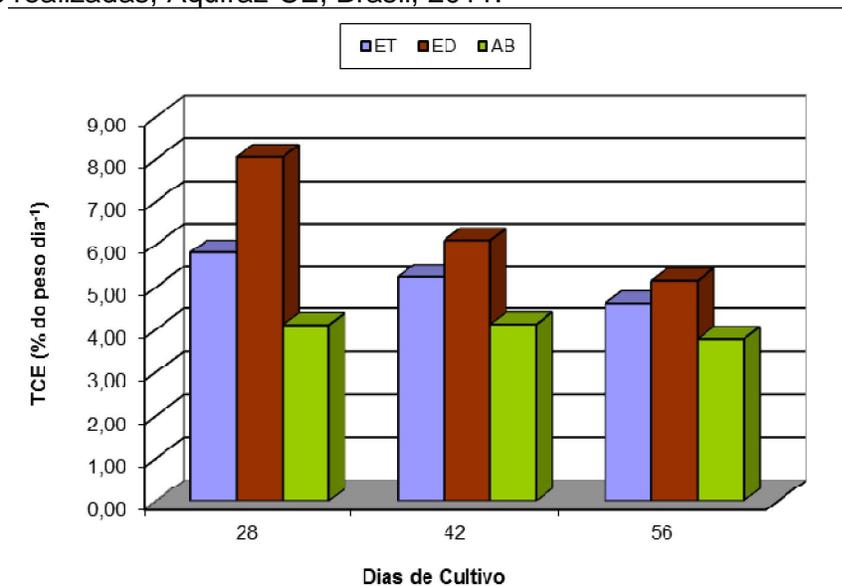
A avaliação do TCE (% do peso corpóreo dia<sup>-1</sup>), assim como para os parâmetros de crescimento e ganho de peso, anteriormente avaliados, também foi realizada utilizando os resultados obtidos em quatro biometrias.

Segundo Baldisserotto (2009), quanto mais novo for o peixe, maior será sua taxa de crescimento específico. Esta característica torna este parâmetro mais adequado para realizar a avaliação do rendimento zootécnico no decorrer do cultivo, tornando o gráfico, com visualização e interpretação mais fácil, quando comparado aos gráficos gerados para o crescimento diário e ganho de peso diário.

O comportamento padrão de declínio da taxa de crescimento específico ficou claramente evidenciado nos tratamentos ED e ET, sendo que o primeiro obteve resultados maiores que os do segundo. Já para o tratamento AB, a taxa de crescimento específico se manteve constante nas biometrias do 28º e 42º dias de cultivo, tendendo ao declínio apenas no 56º dia.

Na Figura 40 pode ser observada a representação gráfica do crescimento diário (mm dia<sup>-1</sup>) da segunda à quarta biometria.

Figura 40 - Representação gráfica dos valores médios da taxa de crescimento específico (% do peso corpóreo dia<sup>-1</sup>) dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais com o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp. durante as biometrias realizadas, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.

Fonte: Autor (2011).

#### 4.4.4. Taxa de Sobrevivência (%)

Na Tabela 20 apresentam-se os resultados das taxas de sobrevivência (%) obtidas nos nove tanques-rede, utilizados nos três tratamentos experimentais. Pode-se observar os resultados do teste estatístico representados pelas letras que acompanham os resultados médios  $\pm$  desvios-padrão, onde letras diferentes representam diferença estatisticamente significativa para nível de significância de 5,0%.

Tabela 20 - Taxas de sobrevivência (%) obtidas nos três tratamentos experimentais onde foi cultivado o peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.

Tanque-rede	Taxa de Sobrevivência (%)		
	ET	ED	AB
<b>01</b>	21,9	112,8	53,7
<b>02</b>	22,3	85,5	62,0
<b>03</b>	21,7	89,3	71,8
<b>Média <math>\pm</math> DP</b>	22,0 $\pm$ 0,31c	95,9 $\pm$ 14,79a	62,5 $\pm$ 9,06b

ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta.

Fonte: Autor (2011).

Observa-se que o tratamento ED foi o que apresentou a maior taxa de sobrevivência, com média de  $95,9 \pm 12,07\%$ , seguido pelo tratamento AB, com  $62,5 \pm 7,40\%$ , e este pelo tratamento ET, com  $22,0 \pm 0,25\%$ . É válido salientar que os três tratamentos experimentais apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si.

Justifica-se a sobrevivência de 112,8% no tanque-rede 01, considerando a metodologia de amostragem durante o manejo de povoamento dos tanques. Como os alevinos utilizados para o povoamento são de tamanho diminuto e peso ínfimo, torna-se muito difícil a contagem unitária destes, assim como extremamente estressante para os mesmos. Por tratar-se de contagem por meio de amostragem, é comum que o número de peixes estocados contenha erros para mais ou para menos.

Apenas os valores obtidos no tratamento ET ficaram abaixo dos alcançados por Küçük (2009), que, cultivando *Poecilia velifera* em diferentes padrões de qualidade de água, obteve taxas de sobrevivência variando de 33,3% a 55,6%.

Dentre os parâmetros de qualidade de água, observaram-se alguns fatores que podem ter causado a mortalidade crônica dos peixes no decorrer do cultivo, dentre as quais é válido salientar o desequilíbrio na relação alcalinidade total:dureza total, que ocasionou a redução do poder tampão, com consequente elevação do pH, que por sua vez aumentou a concentração e toxicidade da amônia não-ionizada presente na água para níveis subletais em praticamente todo o período experimental. A baixa concentração de oxigênio dissolvido também pode ter contribuído para a mortalidade.

Elevadas concentrações de cianotoxinas em corpos de água diminui a qualidade da água e aumenta o risco de toxicidade podendo afetar a saúde humana e animal (NYAKAIRU; NAGAWA; MBABAZI, 2010). A intoxicação causada pelas cianotoxinas pode ser uma das causas da mortalidade observada no tratamento ET.

Além deste fato, é válido salientar a presença de odonatas, ninfas de libélula, que são predadores vorazes de peixes, principalmente os de pequeno porte e durante as fases iniciais de vida. Este é um problema crônico nas pisciculturas de

água doce, sendo a prevenção, por meio da cobertura efetiva dos tanques com telas (telamento), a melhor ação contra estes organismos.

Na Figura 41 pode ser observada uma odonata que foi encontrada dentro de um dos tanques-rede durante o manejo de despesca.

Figura 41 - Odonata encontrada durante o manejo de despesca dentro de um dos tanques-rede utilizados para o cultivo do peixe ornamental *Mollienesia* spp. em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Fonte: Autor (2011).

#### **4.5. Avaliação do Bem-Estar Animal**

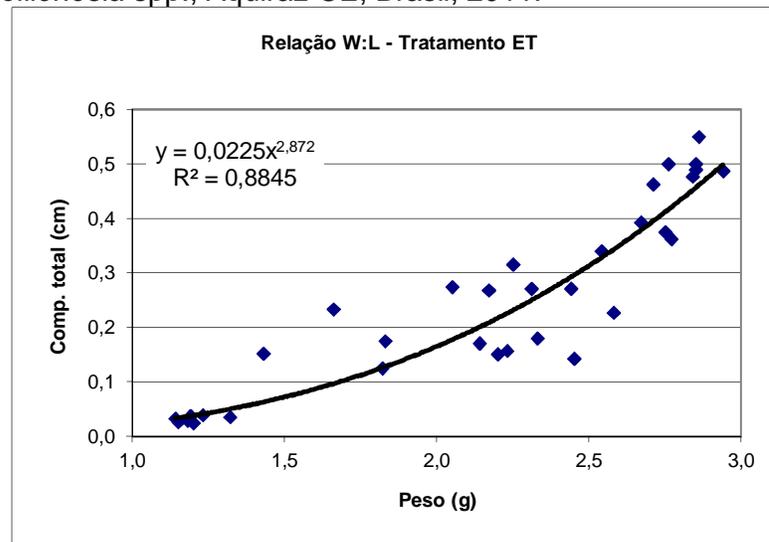
##### **4.5.1. Relação Peso:comprimento e Fator de Condição**

A relação peso:comprimento é frequentemente utilizada nos estudos de crescimento, além de comparações morfométricas entre populações e do fator de condição (BOLGER; CONNOLLY, 1989 *apud* GOMIERO; BRAGA, 2003; PITCHER; HART, 1982 *apud* HOSSAIN *et al.*, 2006a; BAGENAL; TESCH, 1978 *apud* HOSSAIN *et al.*, 2006b). Em relação a este último, a equação gerada a partir da

relação peso:comprimento fornece o coeficiente de alometria (b ou  $\theta$ ) e o intercepto, ou constante de regressão (a).

Na Figura 42 consta a curva da relação peso:comprimento (g:cm) gerada a partir dos dados obtidos no tratamento ET, além da respectiva equação e coeficiente de correlação ( $R^2$ ).

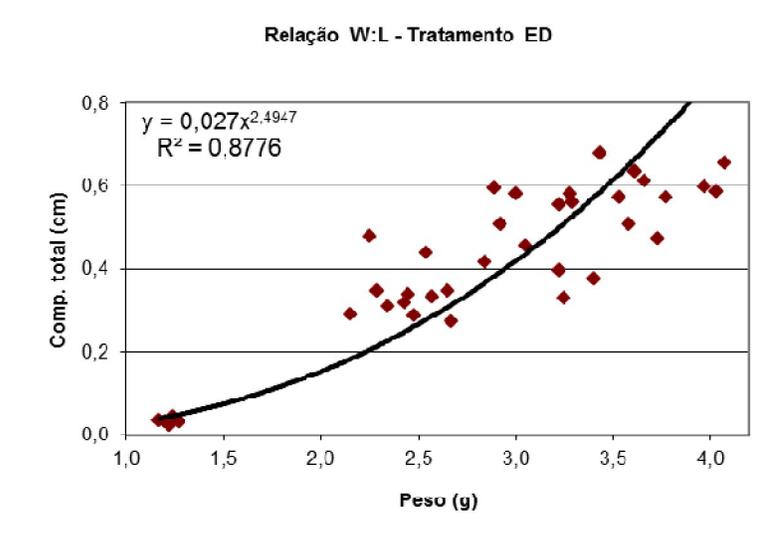
Figura 42 - Curva que representa a relação peso:comprimento (g:cm) do tratamento que utilizou somente esgoto tratado (ET) para o cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Fonte: Autor (2011).

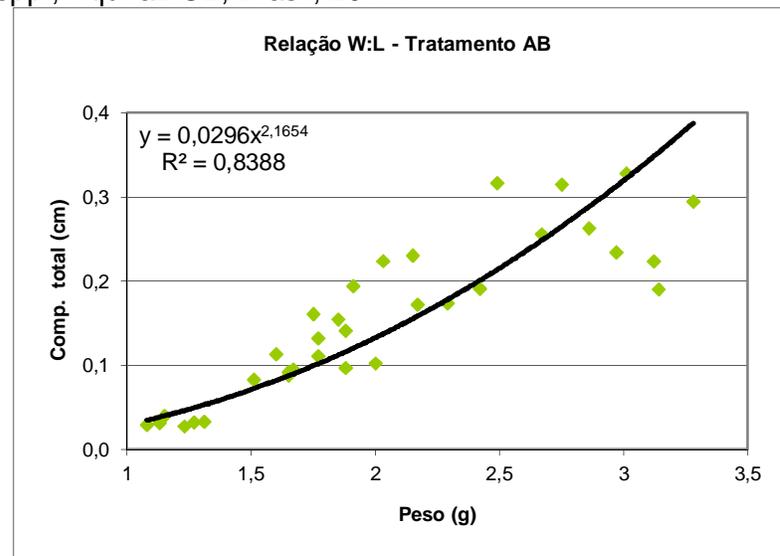
Na Figura 43 pode ser observada a curva da relação peso:comprimento (g:cm) gerada a partir dos dados obtidos no tratamento ED, além da respectiva equação e coeficiente de correlação ( $R^2$ ).

Figura 43 - Curva que representa a relação peso:comprimento (g:cm) do tratamento que utilizou esgoto diluído (ED) para o cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Na Figura 44 observa-se a curva da relação peso:comprimento (g:cm) gerada utilizando-se os dados obtidos no tratamento AB, além da respectiva equação e coeficiente de correlação ( $R^2$ ).

Figura 44 - Curva que representa a relação peso:comprimento (g:cm) do tratamento que utilizou somente água bruta (AB) para o cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Estão expostos na Tabela 21 os parâmetros da relação peso:comprimento (g:cm), as equações geradas, os tipos de crescimento e os resultados médios para os fatores de condição alométrico e de Fulton obtidos a partir dos dados dos três tratamentos experimentais.

Tabela 21 - Tamanho das amostras utilizadas, parâmetros da relação peso:comprimento, equações geradas, tipos de crescimento e os resultados (média  $\pm$  desvio padrão) dos fatores de condição (K) avaliados do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., cultivado em esgoto doméstico tratado, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.

Parâmetros	ET	ED	AB
N	33	37	33
A	0,0225	0,0270	0,0296
B	2,8720	2,4947	2,1654
Equação (W:L)	$W = 0,0225 \times L^{2,8720}$	$W = 0,0270 \times L^{2,4947}$	$W = 0,0296 \times L^{2,1654}$
Crescimento	Alométrico negativo	Alométrico negativo	Alométrico negativo
K-Fulton	$2,19 \pm 0,90a$	$1,76 \pm 0,71a$	$1,83 \pm 0,65a$
K-alométrico	$2,39 \pm 0,95b$	$2,86 \pm 1,01ab$	$3,10 \pm 0,92a$

n = tamanho da amostra; a = Intercepto; b =  $\theta$ : Coeficiente de Alometria; K = Fator de condição; W = peso (g); L = comprimento (cm).

Fonte: Autor (2011).

O coeficiente de alometria (b) apresentou valores de 2,8720 no tratamento ET; 2,4947 no tratamento ED e 2,1654 no tratamento AB. Com exceção deste último os valores obtidos ficaram dentro dos recomendados pela literatura. Segundo Oscoz; Campos; Escala (2005), todas as estimativas dos valores de “b” devem estar na faixa de 2,5 a 3,5.

Para valores de “b” menores que 3,0, o crescimento é considerado alométrico negativo, isto é, o peixe cresce mais que ganha peso. Este comportamento foi observado nos resultados dos parâmetros de crescimento zootécnico, especialmente para o tratamento AB, assim justificando o valor de “b” tão baixo.

O fator de condição (K) é um índice muito utilizado em estudos de biologia pesqueira, pois indica o grau de bem-estar do peixe frente ao meio em que vive, devendo permanecer constante, independente do tamanho que o peixe possa vir a ter, em um determinado momento (BRAGA, 1986 *apud* GOMIERO; BRAGA, 2003).

Para o fator de condição de Fulton ( $K_{\text{Fulton}}$ ), os tratamentos experimentais não apresentaram diferença estatisticamente significativa, no entanto,

numericamente o tratamento ET foi o maior ( $2,19 \pm 0,90$ ), seguido pelo tratamento AB ( $1,83 \pm 0,65$ ) e este pelo tratamento ED ( $1,76 \pm 0,71$ ). Kuçuk (2010), cultivando *Poecilia velifera* em diferentes padrões de qualidade de água, obteve valores do fator de condição de Fulton ( $K_{\text{Fulton}}$ ) de 1,45; 1,47; 1,54 e 1,61, em quatro tratamentos experimentais testados.

Como anteriormente citado, o coeficiente de alometria ( $b$ ) é aplicado na equação do fator de condição alométrico ( $K_{\text{alom}}$ ) para adaptar o fator ao crescimento da espécie em estudo, conforme as condições experimentais. Com a aplicação deste coeficiente deixa-se de usar a constante de Fulton (3,0), que considera o crescimento isométrico para peixes em geral.

O valor do coeficiente de alometria ( $b$  ou  $\theta$ ) menor que 3,0 indica que o crescimento foi do tipo alométrico negativo; isto quer dizer que o peixe cresceu mais do que ganhou peso (SANTOS *et al.*, 2002).

Quanto ao  $K_{\text{alom}}$ , o tratamento AB apresentou o maior resultado entre os tratamentos experimentais ( $3,10 \pm 0,92$ ), seguido pelo tratamento ED ( $2,86 \pm 1,01$ ) e este pelo tratamento ET ( $2,39 \pm 0,95$ ). É válido salientar que o tratamento AB apresentou diferença estatisticamente significativa apenas quando comparado ao ET.

Le Cren (1951) explica que os resultados do fator de condição são de difícil interpretação quando ocorre a diferença entre as variáveis peso e comprimento das amostras avaliadas. Quando se tem um mesmo comprimento e variação apenas no peso, a comparação entre os resultados é fácil.

No presente estudo os resultados de peso e comprimento apresentaram-se diferentes entre si, inclusive sendo as diferenças estatisticamente significativas, como foi anteriormente exposto. Desta forma, a comparação direta dos resultados do fator de condição tornou-se difícil.

Ao se tratar de Fator de Condição, a principal referência científica é o trabalho realizado por Le Cren (1951), por diversas vezes citado no presente estudo. Este autor cita que a “condição” de um peixe reflete as recentes características

físicas e biológicas do ambiente, que influenciam, entre outros fatores, as condições alimentares.

Desta forma, o fator de condição pode ser usado como indicador da condição ambiental, podendo ser avaliado conjuntamente com os indicadores físico-químicos de qualidade de água, e biológicos do meio, que, no caso do presente estudo, foi a comunidade fitoplanctônica. A partir das informações obtidas, pode ser apontado o tratamento experimental que proporcionou o melhor ambiente para o desenvolvimento zootécnico dos peixes cultivados.

Com o que foi exposto, é possível apontar que o conjunto dos fatores avaliados indicam o Tratamento ED como o que proporcionou as melhores condições ambientais de cultivo, fato que resultou nos melhores resultados zootécnicos observados.

Não foram encontradas referências sobre fator de condição alométrico ( $K_{alom}$ ) para a espécie em estudo, não sendo possível a realização das comparações e avaliações pertinentes. Este fato aumenta a relevância do presente estudo, pois os resultados obtidos poderão fornecer informações a serem utilizadas como referências para pesquisas futuras sobre esta espécie.

#### ***4.5.2. Avaliação Histopatológica***

Excetuando-se as brânquias e rins, não foram observadas alterações significativas em nenhum outro órgão dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais. Na Tabela 22 podem ser observados os valores obtidos por meio do índice de alteração dos tecidos para as brânquias e rins dos três tratamentos experimentais, onde letras diferentes que acompanham os resultados de cada órgão indicam diferença estatisticamente significativa.

Tabela 22 - Resultados (média  $\pm$  desvio padrão) dos índices de alteração das brânquias e rins atribuídos através da avaliação histopatológica dos peixes dos três tratamentos experimentais testados.

ÓRGÃOS	Tratamentos Experimentais			p
	ET	ED	AB	
Brânquias	10,6 $\pm$ 5,0b	10,4 $\pm$ 4,1b	16,0 $\pm$ 4,3a	0,0081
Rins	21,7 $\pm$ 7,0a	17,0 $\pm$ 7,7ab	12,7 $\pm$ 3,6b	0,0173

ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído AB: Água bruta.  
Fonte: Autor (2011).

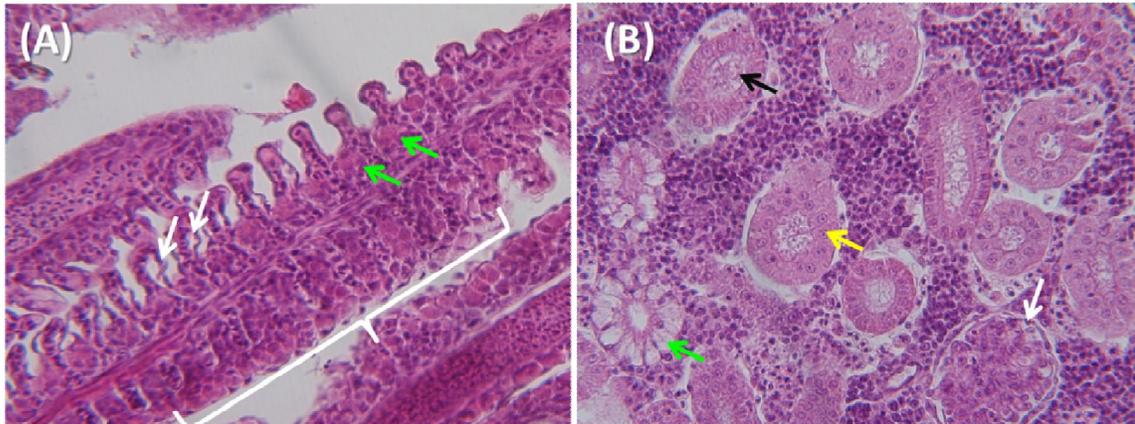
Por meio da quantificação realizada conforme metodologia adotada no presente estudo, observa-se que nas brânquias o valor do índice de alteração do tecido foi maior no tratamento AB que nos demais, inclusive apresentando diferença estatisticamente significativa para  $p < 0,05$ .

Já na avaliação histopatológica dos rins, o índice de alteração apresentou maior resultado nos peixes do tratamento ET, sendo a diferença estatisticamente significativa apenas em relação ao tratamento AB. O segundo maior resultado foi obtido nos peixes do tratamento ED e o menor no tratamento AB. Não houve diferença estatisticamente significativa entre estes dois últimos.

A Figura 45 permite a visualização de algumas das alterações estruturais encontradas no presente estudo. Na Figura 45A é possível visualizar um filamento branquial primário do tratamento AB, com levantamento do epitélio, hiperplasia dos ionócitos e fusão das lamelas secundárias.

Na Figura 45B visualiza-se uma fotomicrografia da estrutura renal de um peixe do tratamento ET, onde são destacados tubos renais com oclusão, hipertrofia e vacuolização do epitélio destes tubos e hipertrofia do glomérulo com correspondente diminuição do espaço de Bowman.

Figura 45 - Amostras de alterações nos tecido utilizados na avaliação hitopatológica dos peixes cultivados, (A) tecido branquial de peixe do tratamento AB; (B) tecido renal de peixe do tratamento ET.



Legenda: (A) Brânquia tratamento AB; levantamento do epitélio (seta branca); hipertrofia e hiperplasia dos ionócitos (seta verde); fusão lamelar (chave branca). (B) Rim tratamento ET; hipertrofia glomerular e diminuição do espaço de Bowman (seta branca); túbulo com núcleo celular hipertrofiado (seta amarela); túbulo com vacuolização das células epiteliais (seta verde); oclusão do túbulo renal e degeneração do epitélio (seta preta).

Fonte: Autor (2012).

As alterações histopatológicas podem ser usadas como indicadores de poluentes antropogênicos sobre os organismos, e são um reflexo da saúde da população presente em um determinado ecossistema (MOHAMED, 2009).

Estudos anteriores relataram que a exposição de peixes aos poluentes (agrícola, industrial e esgoto), resulta em várias alterações patológicas em diferentes tecidos de peixes (MOHAMED, 2009).

Alterações como levantamento epitelial, hiperplasia e hipertrofia das células do epitélio, além de fusão lamelar, são exemplos de mecanismo de defesa, por meio do aumento da distância entre o ambiente externo e o sangue, impedindo a entrada de contaminantes (FERNANDES; MAZON, 2003 *apud* CAMARGO; MARTINEZ, 2007).

Levantamento do epitélio lamelar é uma das primeiras alterações a ocorrerem nas brânquias dos peixes mediante ação aguda de substâncias tóxicas como óleos, detergentes, metais pesados e amônia (MÜLLER; LLOYD, 1994; HEATH, 1995 citados por NASCIMENTO *et al.*, 2012).

Óleos e detergentes são componentes comuns dos esgotos doméstico, e como já comentado, os resultados de amônia neste experimento foram elevados, especialmente no tratamento ET (NAT = 2,65 mg L<sup>-1</sup>; NH<sub>3</sub> = 0,62 mg L<sup>-1</sup>), o qual apresentou concentração mais alta em relação aos demais.

Os rins são uns dos primeiros órgãos dos peixes a serem afetados por contaminantes presentes na água (THOPHON *et al.*, 2003). Apesar das alterações histopatológicas nos rins de peixes não serem associadas a um agente estressor específico (CAMARGO; MARTINEZ, 2007), Veiga *et al.* (2002) relatam que peixes expostos a contaminantes orgânicos apresentam degeneração tubular, com inchaço, embaçamento e vazamento do hialino; redução do espaço de Bowman e dilatação dos capilares dos glomérulos.

As alterações histopatológicas observadas na presente pesquisa afetaram o rendimento zootécnico dos peixes cultivados, no entanto não inviabilizaram o cultivo da espécie em estudo, pois não podem ser diretamente relacionadas com mortalidade observada.

Um resultado de relevante importância observado na presente pesquisa foi o fato de não ter sido observado contaminação da carne do pescado por vermes ou outros parasitas. Esse resultado complementa os obtidos por outras pesquisas (SANTOS *et al.*, 2009a,b; MONTEIRO *et al.*, 2011) realizadas com tilápias do Nilo, *Oreochromis niloticus*, espécie utilizada na alimentação humana, as quais apontam para a segurança alimentar do pescado obtido através do uso de efluentes de lagoas de estabilização na aquicultura.

#### **4.5.3. Manutenção do Comportamento Natural - Ocorrência de Reprodução**

Dentre as diversas estratégias reprodutivas dos peixes, está a reprodução nos períodos em que as condições ambientais estão favoráveis ao sucesso do desenvolvimento de sua prole. Assim, a ocorrência da reprodução aponta que os peixes estão adaptados ao ambiente, o que pode ser um indicador qualitativo do bem-estar animal.

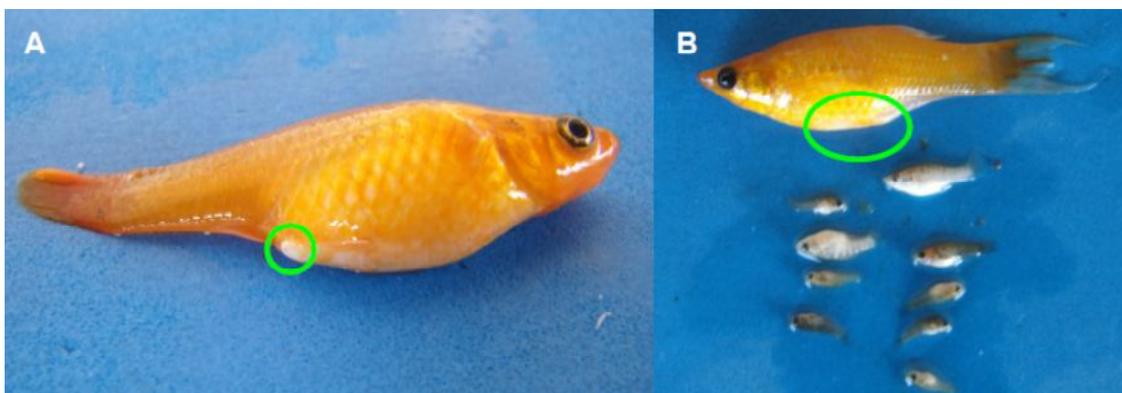
Dentro das cinco liberdades que norteiam as abordagens da avaliação do bem-estar animal, está a que diz que: “os animais devem ter liberdade de expressar o seu comportamento natural” (RAMOS, 2006; FAWC, 2009); desta forma, pode-se considerar que os peixes cultivados no presente estudo puderam apresentar seu comportamento reprodutivo livremente sem que houvesse qualquer interferência humana.

Na Figura 46A é possível observar um espécime fêmea de *Mollienesia* spp. madura. Na imagem é enfatizado o gonopóro evidente e o abdômen abalado e túrgido, indicativos da maturidade reprodutiva.

Na Figura 46B observa-se uma amostra de fêmea de *Mollienesia* spp. em estágio de recuperação, o qual ocorre em fêmeas que já realizaram pelo menos uma desova e estão se recuperando para reproduzir novamente. Ênfase para o abdômen flácido e vazio, e o gonopóro não evidente, características deste estágio reprodutivo.

Nesta figura também observa-se uma amostra de alevinos oriundos de reprodução ocorrida durante o cultivo. É válido salientar que a relação entre a fêmea e os alevinos é apenas demonstrativa, não significando que estes alevinos fazem parte da prole desta fêmea.

Figura 46 – Molinésias, *Mollienesia* spp. coletados no tratamento abastecido com esgoto doméstico tratado; (A) fêmea madura, e (B) fêmea em recuperação, Aquiraz-CE, Brasil, 2011



Legenda: (A) fêmea madura, ênfase para o gonopóro evidente indicativo desta condição; (B) fêmea em recuperação, ênfase para o abdômen flácido e vazio, e o gonopóro não evidente além de amostra demonstrativa de reprodução, estes alevinos não fazem parte da prole desta fêmea.  
Fonte: Autor (2011).

#### 4.6. Avaliação das Características Ornamentais dos Peixes Cultivados

Não foi observado efeito deletério das condições de cultivo sobre as características ornamentais dos peixes em nenhum dos tratamentos experimentais. Não foram notadas ulcerações na pele, descamação, despigmentação, ou qualquer tipo de necrose significativa no corpo ou nadadeiras dos peixes nos três tratamentos testados.

Na Figura 47A, B e C podem ser observadas amostras do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., retiradas ao final do cultivo dos tratamento ET, ED e AB, respectivamente.

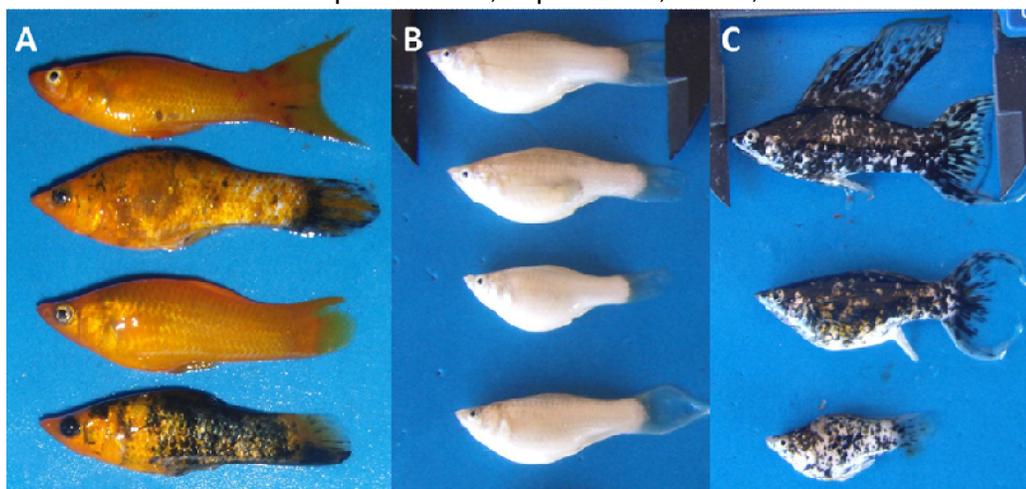
Figura 47 - Amostras do peixe ornamental *Mollienesia* spp. retiradas dos tratamentos experimentais ao final do cultivo, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: (A) Esgoto tratado - ET; (B) Esgoto diluído - ED; (C) Água bruta - AB.  
Fonte: Autor (2011).

Na Figura 48 encontram-se fotografias de peixes retirados dos três tratamentos experimentais, onde é possível observar algumas das linhagens cultivadas no experimento.

Figura 48 - Amostras de diferentes linhagens de molinésias, *Mollinnesia* spp., retiradas dos tratamentos experimentais, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: Linhagens (A) de coloração laranja, (B) de coloração prata e (C) de coloração dalmata.

Fonte: Autor (2011).

Na Figura 48A observam-se quatro peixes das linhagens obtidas com a predominância da coloração laranja, na Figura 48B estão expostos quatro espécimes das linhagens com coloração prata e na Figura 48C observam-se três exemplares diferentes da linhagem dalmata. É válido enfatizar as variações nos formatos do corpo e das nadadeiras caudal e dorsal.

Na Figura 49 é possível observar um exemplar de *Poecilia sphenops* laranja com nadadeira caudal do tipo *shortfin*.

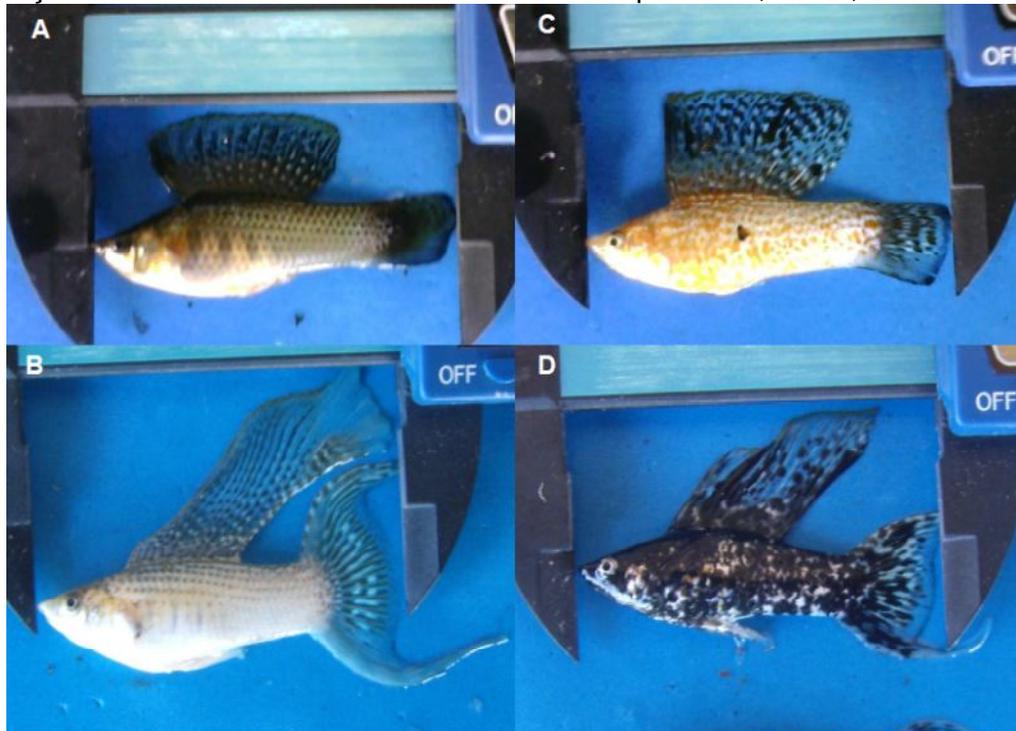
Figura 49 - Amostra de molinésia, *Poecilia sphenops*, de coloração laranja e nadadeira caudal do tipo *shortfin*, Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Fonte: Autor (2011).

Na Figura 50 estão expostas mais imagens de exemplares de molinésias, *Mollienesia* spp., coletados ao final do cultivo experimental.

Figura 50 - Amostras de molinésias, *Mollienesia* spp., retiradas dos tratamentos experimentais onde pode ser observada as características ornamentais preservadas, coloração e forma das nadadeiras diferenciadas. Aquiraz-CE, Brasil, 2011.



Legenda: A) *Poecilia latipinna*; B) *P. sphenops*, linhagem lira prata; C) *P. velifera*; D) *P. sphenops*, linhagem lira dalmata.

Fonte: Autor (2011).

Nas Figuras 50A e C mostram-se exemplares de molinésia das espécies *Poecilia latipinna* e *P. velifera*, respectivamente, onde pode ser observada que a integridade da nadadeira dorsal e a coloração exuberante foram mantidas.

Nas Figuras 50B e D mostram-se exemplares de molinésia da espécie *Poecilia sphenops* das linhagens lira prata e dalmata, respectivamente, observando-se que as características das nadadeiras dorsal e caudal foram mantidas em ambos os casos, além da coloração do corpo.

#### 4.7. Avaliação Econômica

Para a avaliação econômica do cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., foram considerados quatro componentes: alevinos, ração, água e o peixe produzido; os três primeiros compõem os custos, enquanto o último irá gerar a receita.

Conforme anteriormente citado, no presente estudo foi considerada a densidade de estocagem de 200 alevinos/m<sup>3</sup>, sendo necessários 600 alevinos em cada tanque rede e, conseqüentemente, 1.800 alevinos por tratamento. O valor de aquisição foi R\$0,01/alevino, perfazendo o custo de R\$18,00 em cada tratamento.

Apenas no tratamento AB foi utilizada ração, pois, nos outros dois, os peixes alimentaram-se apenas do alimento natural presente na água de cultivo. Foram fornecidos 890 g de ração em cada um dos três tanques rede utilizados neste tratamento, durante todo o cultivo, totalizando o consumo de 2,68 kg de ração. Considerando que foi utilizado um único tipo de ração (farelada e extrusada, para peixes onívoros e com 50% de PB) e que esta foi adquirida pelo preço de R\$2,48/kg, o gasto total com ração foi de R\$6,65.

Na Tabela 23 está exposto o detalhamento semanal do consumo de ração do tratamento AB, assim como o consumo acumulado por tanque rede.

Tabela 23- Características de consumo de ração no cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., no tratamento experimental abastecido com água bruta (AB), Aquiraz, Brasil, 2011.

Semana de Cultivo	Estimativa da Bm estocada (g)	TA (%Bm dia <sup>-1</sup> )	Ração Ofertada		Ração Acumulada (kg)
			(g dia <sup>-1</sup> )	(g semana <sup>-1</sup> )	
1 <sup>a</sup>	19,48	50,0%	10	68	0,07
2 <sup>a</sup>	29,87	40,0%	12	84	0,15
3 <sup>a</sup>	40,27	30,0%	12	85	0,24
4 <sup>a</sup>	50,66	25,0%	13	89	0,33
5 <sup>a</sup>	61,05	25,0%	15	107	0,43
6 <sup>a</sup>	76,08	22,5%	17	120	0,55
7 <sup>a</sup>	109,61	20,0%	22	153	0,71
8 <sup>a</sup>	133,28	20,0%	27	187	0,89

TA: Taxa de arraçoamento; Bm: Biomassa.

Fonte: Autor (2011).

Os três tratamentos utilizaram 82 m<sup>3</sup> de água, sendo 40 m<sup>3</sup> referentes ao abastecimento inicial e 42 m<sup>3</sup> de renovação durante o cultivo (taxa de renovação de 15% do volume útil do tanque por semana). A diferença entre os tratamentos foi o tipo de água utilizada, pois, no tratamento ET foi usado esgoto tratado, no ED foi utilizado metade do volume de água bruta e metade de esgoto tratado, e no AB apenas água bruta.

Dentre as componentes do custo de produção consideradas na avaliação econômica, a de mais difícil valoração foi à água. A cobrança pela água bruta para fins de aquicultura é uma prática bem estabelecida em diversos locais do mundo, inclusive em várias regiões do Brasil. No Estado do Ceará esta cobrança segue o instituído no Decreto nº 30.159/2010 (CEARÁ, 2010), o qual estabelece o valor de R\$0,003/m<sup>3</sup> para água retirada diretamente do manancial, pelo usuário, para abastecer viveiros escavados.

Por falta de referência científica, técnica ou legal em relação à cobrança da água de reúso para fins de aquicultura, foram consideradas duas situações para cobrança da água de reúso (esgoto tratado):

- Situação 1: O valor cobrado pela Sabesp (R\$0,94/m<sup>3</sup>). No entanto, é válido salientar que a recomendação de utilização da água de reúso produzida por esta companhia é para usos urbanos não potáveis e industriais.
- Situação 2: Metade do valor cobrado pela Sabesp (R\$0,47/m<sup>3</sup>). No intuito de simular um valor mais justo para a cobrança da água de reúso, levando em consideração o menor custo de tratamento do esgoto em sistema de lagoas de estabilização, o qual foi usado neste experimento.

A metodologia utilizada para o estabelecimento do preço da água de reúso pela Sabesp foi a Disposição a Pagar (DAP), a qual sofre influência direta do preço pago pela água bruta para o mesmo uso. Fontenele (2007), ao avaliar DAP pelo fornecimento da água de reúso no Distrito Industrial de Fortaleza, propôs que o valor da tarifa para este produto deveria variar entre R\$ 0,42/m<sup>3</sup> e R\$0,58/m<sup>3</sup>. Este preço estava abaixo dos R\$0,67/m<sup>3</sup> cobrados na mesma época pela Cogerh para água bruta a ser utilizada em atividades industriais.

Assim, observa-se que a DAP sugere valor para a água de reúso menor que o valor cobrado pela água bruta para a mesma atividade. Desta forma, o valor a ser aplicado poderia ser menor que R\$0,003/m<sup>3</sup> ou, no máximo, menor que R\$0,0096/m<sup>3</sup>, que é o valor cobrado pela água bruta para piscicultura em tanques escavados, com a adução feita pela Cogeh.

Desta forma, no tratamento ET foram gastos R\$77,08 pelos 82 m<sup>3</sup> de água de reúso utilizados. No tratamento ED foram gastos R\$0,12 e R\$38,54 pelos 41 m<sup>3</sup> de água bruta e água de reúso, respectivamente, totalizando R\$38,66. E no tratamento AB, para qual gastou-se menor valor, o custo foi de R\$0,25 pelos 82 m<sup>3</sup> utilizados. A diferença dos gastos com água entre os tratamentos foi bastante expressiva, sendo este fator definitivo no resultado da avaliação econômica.

Na Tabela 24 é possível observar as características de consumo e custos com a água nos três tratamentos testados.

Tabela 24 - Características de consumo e custo da água no cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., nos três tratamentos experimentais testados, considerando as duas situações, Aquiraz, Brasil, 2011.

Características do Uso da Água	Tratamento Experimental						
	ET-S1	ET-S2	ED-S1		ED-S2		AB
Tipo de Água	AR	AR	AB	AR	AB	AR	AB
Volume de abastecimento (m <sup>3</sup> )	40	40	20	20	20	20	40
Renovação semanal (%)	15	15	7,5	7,5	7,5	7,5	15
Renovação semanal (m <sup>3</sup> )	6,0	6,0	3,0	3,0	3,0	3,0	6,0
Volume total de renovação (m <sup>3</sup> )	42	42	21	21	21	21	42
Volume total de água utilizada (m <sup>3</sup> )	82	82	41	41	41	41	82
Valor da água (R\$/m <sup>3</sup> )	0,94	0,47	0,003	0,94	0,003	0,47	0,003
Valor total gasto com água (R\$)	77,08	38,54	0,12	38,54	0,12	19,27	0,25
			38,66		19,39		

ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta; AR: Água de reúso (esgoto tratado); S-1: Situação 1; S-2: Situação 2.

Na piscicultura, a receita é obtida com a comercialização da produção. No caso deste experimento a produção é contabilizada pelo número de peixes no final do cultivo, tendo assim relação direta com a taxa de sobrevivência obtida.

O tratamento ET apresentou dois fatores muito importantes que influenciaram negativamente no resultado da avaliação econômica: o primeiro foi o

custo da água de reúso, como já discutido, e o segundo foi a pequena produção obtida (396 peixes), pois a taxa de sobrevivência foi de apenas 22%.

Desta forma, no tratamento ET-S1, a receita bruta gerada foi de R\$118,80 com um custo operacional de R\$95,08, o que gerou receita líquida de apenas R\$23,72. Estes resultados proporcionaram a incidência de custo de R\$0,24 por peixe produzido, que é um valor muito alto, considerando que o peixe foi comercializado por R\$0,30 a unidade, isto é, lucro de R\$0,06 (20%) por peixe vendido.

Já no tratamento ET-S2, a receita bruta foi a mesma do ET-S1 (R\$118,80), no entanto, o custo operacional foi reduzido em 40,5% em relação ao mesmo pela redução do valor cobrado pela água de reúso, ficando em R\$56,54, o que resultou em aumento de aproximadamente 262,5% na receita líquida quando comparado ao ET-S1, ficando em R\$62,26. A incidência de custo foi R\$0,14/peixe, o que gerou lucro de R\$0,16 (53,3%) por peixe vendido.

O tratamento ED-S1 apresentou a maior produção entre os tratamentos experimentais (1.728 peixes) devido a elevada taxa de sobrevivência obtida (95,9%). Este fato proporcionou a maior receita bruta, R\$518,40, com custo operacional de R\$56,66, resultando em uma receita líquida de R\$461,74 e índice de custo de apenas R\$0,03 por peixe produzido. Neste caso, o lucro foi de R\$0,27 por peixe comercializado (90%), bem maior que no tratamento ET.

Assim como no anterior, o tratamento ED-S2 apresentou receita bruta de R\$518,40, no entanto, como o valor considerado com o esgoto tratado foi mais baixo que no ED-S1, o custo operacional foi de R\$37,39, resultando em receita líquida de R\$481,01, a maior obtida no experimento, e índice de custo de R\$0,02/peixe. O lucro obtido foi de R\$0,28 por peixe (93,3%).

No tratamento AB a taxa de sobrevivência foi de 62,5% o que ocasionou a produção de 1.134 peixes. A venda destes proporcionou receita bruta de R\$340,20, com custo operacional de R\$24,90. Assim, obteve-se receita líquida de R\$315,30, gerando com isso custo unitário de R\$0,02. Com isso, o lucro foi de R\$0,28 por peixe (93,3%), o mesmo obtido no tratamento ED-S2.

Na Tabela 25 pode ser observado o detalhamento dos valores de custos e receitas assim como os resultados dos indicadores utilizados na avaliação econômica do cultivo do peixe ornamental molinésia nas condições experimentais testadas.

Tabela 25 - Dados de custos e receitas utilizados na avaliação econômica do cultivo do peixe ornamental molinésia, *Mollienesia* spp., abastecido com esgoto doméstico tratado, Aquiraz, Brasil, 2011.

Tratamentos Experimentais	Alevinos		Ração		Água		Valor do Produto (R\$/peixe)	P (peixe)	RB (R\$)	COP (R\$)	RLP (R\$)	IC (R\$/peixe)
	Quant (peixe)	Valor (R\$)	Quant (kg)	Valor (R\$)	Quant (m <sup>3</sup> )	Valor (R\$)						
ET-S1	1800	18,00	0	0	82	77,08	0,30	396	118,80	95,08	23,72	0,24
ET-S2	1800	18,00	0	0	82	38,54	0,30	396	118,80	56,54	62,26	0,14
ED-S1	1800	18,00	0	0	82	38,66	0,30	1728	518,40	56,66	461,74	0,03
ED-S2	1800	18,00	0	0	82	19,39	0,30	1728	518,40	37,39	481,01	0,02
AB	1800	18,00	2,68	6,65	82	0,25	0,30	1134	340,20	24,90	315,30	0,02

ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta; S-1: Situação 1; S-2: Situação 2; P: Produção; RB: Receita bruta; COP: Custo operacional parcial; RLP: Receita líquida parcial; IC: Incidência de custo.

Conforme exposto na Tabela 25, é possível calcular que a participação dos custos dos alevinos dentro do custo operacional parcial (COP) no tratamento AB foi de 72,3%, bem aproximado do resultado de 68,6% obtido por Leonardo *et al.* (2009) na produção de juvenis de tilápias em viveiros escavados com 50 m<sup>3</sup> e 150 m<sup>3</sup>. Para o tratamento ED, a participação de alevinos representou 31,3%, e no tratamento ET foi de 18,9%, resultado próximo do obtido por Sabbag *et al.* (2007), que, ao cultivar tilápias em tanques rede de 18m<sup>3</sup>, verificou que os custos com aquisição de alevinos na produção do peixe adulto foi de 12,36%.

O tratamento AB foi o único que recebeu ração, representando 26,7% dos custos de produção. No cultivo do peixe palhaço, *Amphiprion ocellaris*, em sistema de recirculação, Kodama *et al.* (2011) observaram que a ração participou com 11% dos custos de produção. Crivelenti *et al.* (2006) apontaram a ração como responsável por 41% do custo de produção no cultivo da tilápia em sistema intensivo.

É válido salientar que o custo assumido para a água de reúso participou com 81% dos custos de produção para o tratamento ET-S1. No tratamento ED-S1 a água representou 68% dos custos de produção deste tratamento, enquanto a água de

reúso (esgoto tratado) respondeu por 99,7% dos custos com água no mesmo. Ao considerar o tratamento ET-S2 a água de reúso passou a representar 68,2% dos custos de produção, se equiparando ao custo com água do tratamento ED-S1. Para o tratamento ED-S2 o custo com água representou 51,9% do custo de produção, enquanto a água de reúso foi responsável por 99,4% do custo com água. Esses resultados destacam a importância de estudos específicos para a definição do valor mais apropriado para cobrança deste recurso.

No tratamento AB os gastos com água representam apenas 1,0% dos custos de produção, realçando a importância da cobrança justa da água para o sucesso econômico dos cultivos em aquicultura. Kodama *et al.* (2011) citam que a água representou 3,0% dos custos de produção do peixe palhaço em sistema de recirculação.

Os resultados da avaliação econômica apontam o tratamento ED como o economicamente mais viável, tanto pelo do de vista de retorno financeiro como pela economia de recursos naturais. Com a aplicação desta metodologia de cultivo poupa-se diretamente o recurso água, por meio da utilização de 50% do volume requerido com água de reúso, assim como, também poupam-se indiretamente outros recursos naturais, pela não utilização de ração, além de reduzir o aporte de nutrientes exógenos na água.

#### **4.8. Avaliação da Sustentabilidade**

Na Tabela 26 estão expostos os resultados dos indicadores obtidos nos três tratamentos experimentais, incluindo as duas situações no tratamento ED, assim como os respectivos valores calculados para o Índice de sustentabilidade para o reúso em aquicultura (ISRA).

Tabela 26 - Resultados dos indicadores utilizados na composição do ISRA, assim como seus respectivos valores para os três tratamentos experimentais, incluindo as duas situações do tratamento Esgoto Diluído.

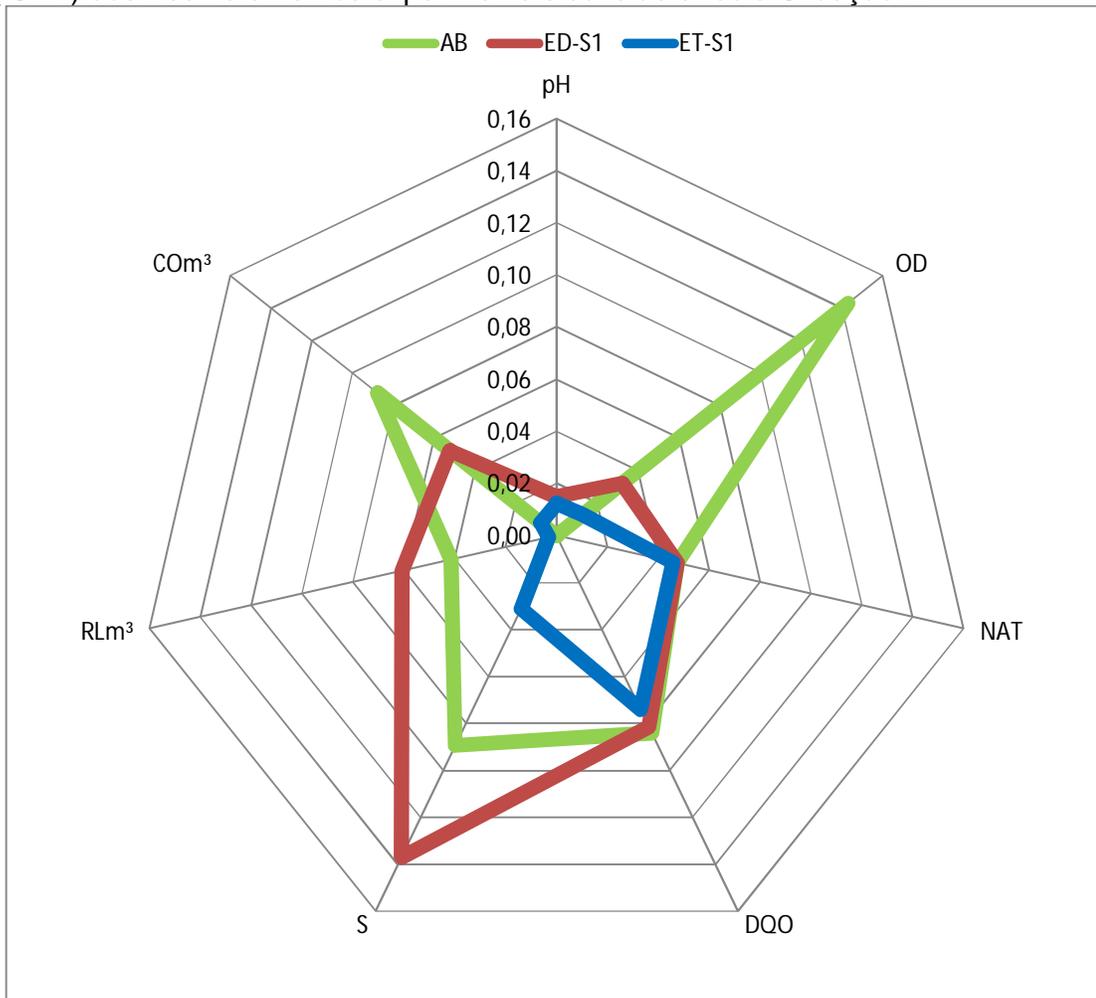
Indicadores	ET-S1		ET-S2		ED-S1		ED-S2		AB	
	Resultados	ISRA								
pH	8,61	0,01	8,61	0,01	8,53	0,01	8,53	0,01	9,68	0,00
OD (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	1,29	0,01	1,29	0,01	2,06	0,03	2,06	0,03	8,96	0,14
NAT (mg L <sup>-1</sup> )	2,65	0,05	2,65	0,05	0,87	0,05	0,87	0,05	0,41	0,05
DQO (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	175,77	0,07	175,77	0,07	115,67	0,08	115,67	0,08	96,36	0,08
Sobrevivência (%)	22	0,03	22	0,03	95,9	0,14	95,9	0,14	62,5	0,09
RLm <sup>3</sup> (R\$/m <sup>3</sup> )	2,63	0,00	6,92	0,01	51,3	0,06	53,44	0,06	35,03	0,04
COM <sup>3</sup> (R\$/m <sup>3</sup> )	10,56	0,01	6,28	0,05	6,23	0,05	4,15	0,07	2,77	0,09
<b>ISRA</b>		<b>0,18</b>		<b>0,24</b>		<b>0,42</b>		<b>0,44</b>		<b>0,49</b>

ET: Esgoto tratado; ED: Esgoto diluído; AB: Água bruta; S-1: Situação 1; S-2: Situação 2; ISRA: Índice de Sustentabilidade para Reúso em Aquicultura; OD: Oxigênio Dissolvido; NAT: Nitrogênio amoniacal total; DQO: Demanda química de oxigênio; S: Taxa de sobrevivência; RLM<sup>3</sup>: Receita líquida por metro cúbico; COM<sup>3</sup>: Custo operacional por metro cúbico.

Gráficos de radar foram utilizados em diversas pesquisas como ferramenta de auxílio à análise de sustentabilidade, pois estes facilitam a visualização dos resultados, assim como suas interações (MUGA; MIHELICIC, 2008; SANTOS *et al.*, 2011). Quanto mais longe do centro do gráfico, melhores são os resultados. Dessa forma, avalia-se a sustentabilidade ambiental a partir da comparação do tamanho das áreas: quanto maior a área, maior é a sustentabilidade da atividade.

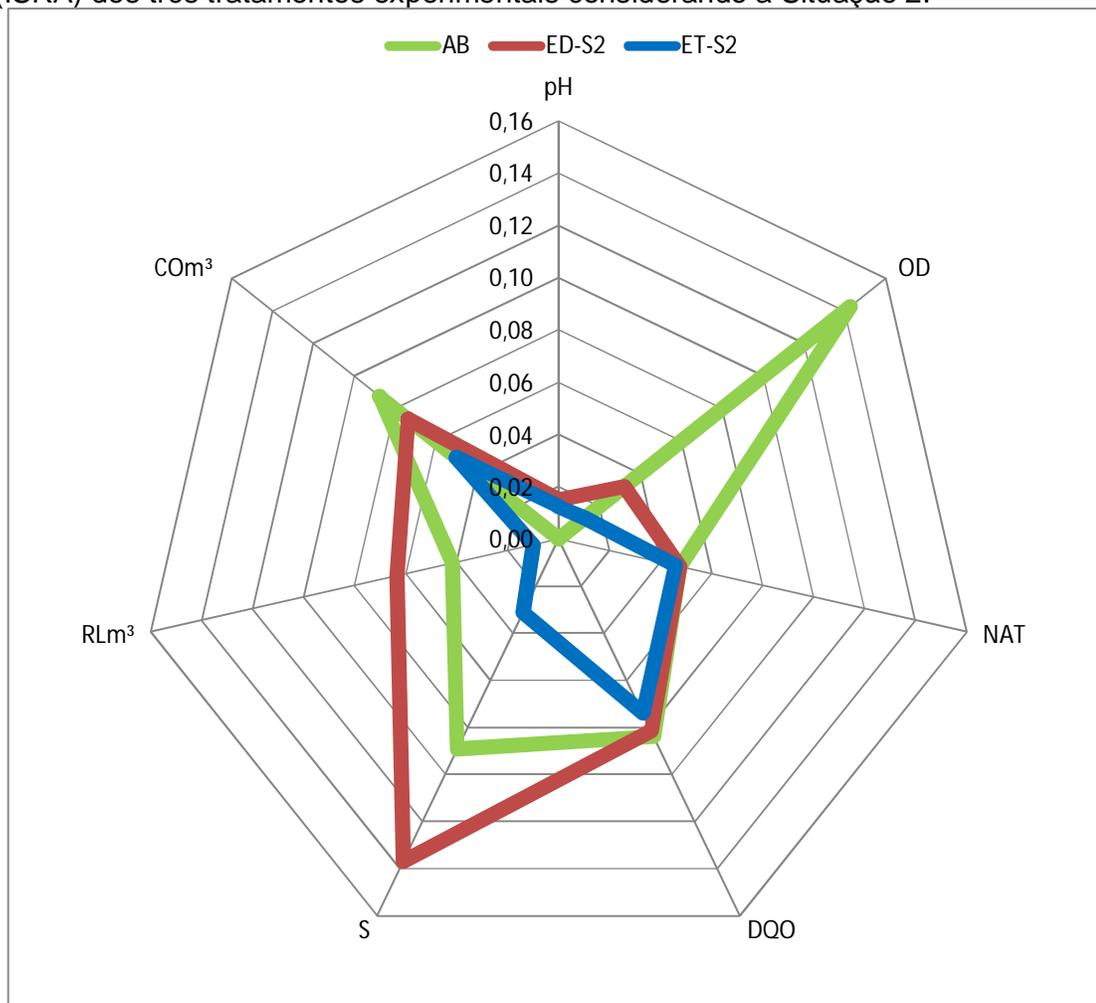
Para realizar a comparação entre os tratamentos experimentais, considerando as duas situações admitidas no tratamento ED, optou-se em utilizar dois gráficos de radar. No primeiro (Figura 51) é possível observar, em gráficos de radar sobrepostos, os resultados do ISRA parciais de cada um dos indicadores utilizados nos tratamentos AB, ET-S1 e ED-S1. No segundo (Figura 52) é possível observar, em gráficos de radar sobrepostos, os resultados do ISRA parciais de cada um dos indicadores utilizados nos tratamentos AB, ET-S2 e ED-S2.

Figura 51 - Sobreposição dos gráficos de radar que representam os resultados dos indicadores utilizados no Índice de Sustentabilidade para Reúso em Aquicultura (ISRA) dos três tratamentos experimentais considerando a Situação 1.



ET: Esgoto tratado; ED-S1: Esgoto diluído Situação 1; AB: Água bruta; OD: Oxigênio Dissolvido; NAT: Nitrogênio amoniacal total; DQO: Demanda química de oxigênio; S: Taxa de sobrevivência; RLM³: Receita líquida por metro cúbico; COM³: Custo operacional por metro cúbico.  
Fonte: Autor (2011).

Figura 52 - Sobreposição dos gráficos de radar que representam os resultados dos indicadores utilizados no Índice de Sustentabilidade para Reúso em Aquicultura (ISRA) dos três tratamentos experimentais considerando a Situação 2.



ET-S2: Esgoto tratado Situação 2; ED-S2: Esgoto diluído Situação 2; AB: Água bruta; OD: Oxigênio Dissolvido; NAT: Nitrogênio amoniacal total; DQO: Demanda química de oxigênio; S: Taxa de sobrevivência; RLM<sup>3</sup>: Receita líquida por metro cúbico; COM<sup>3</sup>: Custo operacional por metro cúbico. Fonte: Autor (2011).

O resultado de ISRA para o tratamento ET-S1 foi o mais baixo entre os tratamentos testados (ISRA = 0,18), podendo o cultivo nestes moldes ser considerado como insustentável (ISRA: 0,0 – 0,20). Este resultado pode ser bem visualizado por meio da área limitada pela linha azul no gráfico de radar, que foi a menor das três áreas nas Situações 1 (Figuras 50). Para o tratamento ET-S2 o ISRA foi 0,24, mostrando que a alteração no valor de cobrança da água foi suficiente para elevar a classificação do cultivo com uso de esgoto tratado de insustentável para de sustentabilidade baixa (ISRA: 0,21-0,40).

Para o tratamento ED a Situação 1 (ED-S1) apresentou ISRA de 0,42, enquanto que para a Situação 2 (ED-S2) o ISRA foi de 0,44, estes resultados ficaram um pouco abaixo daquele apresentado pelo tratamento AB (ISRA = 0,49); estando os três casos classificados como atividade de média sustentabilidade (ISRA: 0,41 – 0,60). Esse resultado pode ser observado pela semelhança de tamanho entre as áreas que representam estes, apesar da diferença da forma entre elas.

O formato da área referente ao tratamento AB aponta claramente os dois indicadores que contribuíram positivamente para o resultado, a alta concentração de OD e o baixo custo de produção, principalmente pelo preço cobrado pela água bruta. Assim como o elevado valor de pH e baixa receita como sendo os fatores que influenciaram negativamente no resultado.

No tratamento ED, nas duas situações consideradas, a sobrevivência e a receita influenciaram de forma positiva, e o elevado pH e a baixa concentração de OD influenciaram de forma negativa para o resultado. Já o tratamento ET teve baixo desempenho em praticamente todos os indicadores.

A proximidade dos resultados entre os tratamentos AB e ED, apontam este como a melhor opção para este tipo de cultivo, pois, com algumas medidas simples a sustentabilidade deste modelo pode ser aumentada consideravelmente, conforme descrito a seguir:

- i. A aplicação de aeração mecânica poderia melhorar os resultados de OD sem afetar de forma drástica os custos, pois a aquicultura é beneficiada pela tarifa de energia “verde”, com valor mais baixo;
- ii. O pH pode ser controlado por meio da elevação da relação alcalinidade total:dureza total, e;
- iii. A definição de um valor justo para a cobrança da água de reúso afetaria de forma positiva os indicadores econômicos ( $\text{COm}^3$  e  $\text{RLm}^3$ ). Isto foi demonstrado através da diferença apresentada deste indicador entre as Situações 1 e 2.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados dos parâmetros físico-químicos utilizados no presente estudo como indicadores da qualidade ambiental da água de cultivo, observou-se que o esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização oferece condição para se realizar o cultivo de *Mollienesia* spp., quando diluído em água bruta.

No tratamento abastecido apenas com esgoto doméstico tratado, a baixa concentração de oxigênio dissolvido e os elevados valores de pH e amônia não ionizada foram os principais fatores da performance zootécnica ruim por este apresentada, ocasionando a baixa taxa de sobrevivência observada neste tratamento.

Apesar da baixa concentração de oxigênio dissolvido e elevado pH observado no tratamento abastecido com esgoto tratado diluído, estes não provocaram problemas no desempenho zootécnico ou mesmo na sobrevivência dos peixes nele cultivados.

Nos tratamentos abastecidos com esgoto doméstico tratado, diluído ou não, observou-se a incidência das mesmas classes de microalgas presentes nos sistemas de tratamento de esgoto doméstico que utilizam a tecnologia de lagoas de estabilização. As principais classes observadas foram as *Chlorophyceas*, *Cyanophyceas*, *Bacillariophyceas*, *Zignemaphyceas* e *Euglenophyceas*, sendo as quatro primeiras reconhecidamente aproveitáveis como alimentação na aquicultura.

A menor quantidade de nutrientes presentes na água do tratamento que utilizou apenas água bruta em seu abastecimento resultou na incidência das classes com maior capacidade adaptativa, *Cyanophyceae* e *Chlorophyceae*, e daquela que indica água com menor grau de poluição, *Bacillariophyceae*.

Em todos os parâmetros de rendimento zootécnicos avaliados, o tratamento abastecido com esgoto tratado diluído foi o que apresentou os maiores resultados. Quando observado os indicadores referentes ao crescimento, os peixes do

tratamento que recebeu água bruta apresentaram melhores resultados que os daquele abastecido apenas com esgoto tratado. Ao avaliar os parâmetros referentes ao ganho de peso essa situação se inverteu.

Esses resultados apontam que as microalgas presentes no esgoto doméstico tratado têm capacidade de sustentar o desenvolvimento da espécie testada nestas condições de cultivo, pois, mesmo havendo o fornecimento de alimentação artificial para os peixes cultivados no tratamento abastecido com água bruta, estes apresentaram o menor incremento de biomassa corpórea entre os tratamentos testados.

Dentre os fatores utilizados como indicadores de bem-estar animal, apenas a avaliação histopatológica foi capaz de proporcionar resultado conclusivo, apontando o tratamento abastecido com esgoto tratado diluído como o que proporcionou o ambiente mais confortável para o desenvolvimento dos peixes cultivados.

É válido salientar que foi mantido o comportamento reprodutivo dos peixes cultivados nos três tratamentos experimentais, indicando a adaptação da espécie ao ambiente de cultivo.

As características ornamentais dos peixes cultivados não sofreram influência pelo uso do esgoto doméstico tratado no abastecimento dos tanques experimentais, pois não foi observada qualquer alteração nos padrões de coloração e formato de nadadeiras, assim como sinais de ulceração, descoloração, descamação ou má formação nos peixes cultivados, que possam ser relacionados ao ambiente de cultivo.

Apesar da grande dificuldade proporcionada pela inexistência de um valor a ser cobrado pela água de reúso para fins de aquicultura, os resultados da avaliação econômica apontaram o tratamento que utilizou esgoto tratado diluído nas duas situações admitidas como o mais rentável dentre os testados.

O tratamento que utilizou água bruta foi o segundo melhor, e isto ocorreu pelo valor justo que é cobrado pela água bruta para uso em aquicultura, o que

reduziu significativamente os custos de produção. O tratamento que utilizou apenas esgoto tratado apresentou o pior resultado, porém, caso fosse aplicado um valor justo para a cobrança pela água de reúso, os custos se reduziram bastante e o resultado seria mais favorável a este tratamento.

Os resultados da avaliação da sustentabilidade apontaram o tratamento que utilizou apenas água bruta como o mais sustentável dentre os testados. No entanto, a proximidade dos resultados deste com o tratamento abastecido com esgoto tratado diluído, nas duas situações admitidas, apontam este como melhor opção para esta modalidade de cultivo, pois, com algumas medidas simples a sustentabilidade deste modelo pode ser aumentada consideravelmente. Além do que, deve ser considerada a redução do uso na quantidade de água bruta, pela metade, e a não utilização de ração, como tendo grande importância na sustentabilidade deste cultivo.

Recomenda-se, para experimentos futuros, que seja realizado o cultivo de uma única espécie e linhagem para homogeneizar a produção e agregar valor ao produto. Recomenda-se também a aplicação de aeração mecânica por sistema de ar difuso (*air-lift*), no intuito de melhorar os resultados de qualidade ambiental e, conseqüentemente, todos os demais, o que certamente elevará a sustentabilidade deste tipo de cultivo. Também, é de grande importância a realização de estudos para a proposição de um valor justo para a cobrança da água de reúso para fins de aquicultura.

## REFERÊNCIAS

- ADAMSSON, M. Potential use of human urine by greenhouse culturing of microalgae (*Scenedesmus acuminatus*), zooplankton (*Daphnia magna*) and tomatoes (*Lycopersicon*). **Ecological Engineering**, v. 16, p. 243–254, 2000.
- ALAM, M.G.M.; JAHAN, N.; THALIB, L.; WEI, B.; MAEKAWA, T. Effects of environmental factors on the seasonally change of phytoplankton populations in a closed freshwater pond. **Environment International** v. 27 p. 363–371, 2001
- ALBERT, A. **Selective Toxicity**. Chapman and Hall, London. 597 pp. 1973.
- ALMEIDA, S.C.A.; NUÑER, A.P.O. Crescimento de *Pimelodus maculatus* (Actinopterygii, Pimelodidae) estocados em diferentes densidades em tanques-rede. **Biotemas**. v. 22, n. 3, p. 113-119, 2009.
- ALONSO-RODRÍGUEZ, R.; PÁEZ-OSUNA, F. Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: a review with special reference to the situation in the Gulf of California. **Aquaculture**, v. 219, p. 317–336, 2003.
- APHA – (2005) American Public Health Association. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. Washington: D. C.: APHA/AWWA-WPCF, 2005.
- ARAÑA, L.V. **Princípios Químicos de Qualidade da Água em Aqüicultura: Uma revisão para peixes e camarões**. 2º edição revisada e ampliada. Florianópolis: Editora da UFSC, 2004.
- ARAUZO, M. Harmful effects of un-ionised ammonia on the zooplankton community in a deep waste treatment pond. **Water Research**, v. 37, p. 1048–1054, 2008.
- ASADUZZAMAN, M.; WAHAB, M.A.; VERDEGEM, M.C.J.; BENERJEE, S.; AKTER, T.; HASAN, M.M.; AZIM, M.M. Effects of addition of tilapia *Oreochromis niloticus* and substrates for periphyton developments on pond ecology and production in C/N-controlled freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming systems. **Aquaculture**. v. 287, p. 371–380, 2009.
- ASHLEY, P.J. Fish welfare: current issues in aquaculture. **Appl. Anim. Behav. Sci.** v. 104, p. 199–235, 2007.
- AUSTIN, B. The effects of pollution on fish health. **Journal of Applied Microbiology**, Symposium Supplement, v. 85, p. 2348-2428, 1999.
- 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.

AZEVEDO, S.M.F.O. Cianobactérias tóxicas: causas e conseqüências para saúde pública. **Revista Virtual de Medicina**. v. 01, n. 03., 1998.

AZEVEDO, S.M.F.O.; VASCONCELOS, V. M., Toxinas de Cianobactérias: Causas e Conseqüências para a Saúde Pública, Cap. 18, **Ecotoxicologia Aquática-Princípios e Aplicações**. São Carlos: RIMA, 2006.

BALASUBRAMANIAN, S., PAPPATHI, R., RAJ, S. P. An energy budget and efficiency of sewage-fed fish ponds. **Bioresource Technology**, v. 52, p. 145-150, 1995.

BALDISSEROTO, B. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. 2. Ed. Rev. E Ampl. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2009, 352 p.

BARTLEY, D. Responsible ornamental fisheries. **FAO Aquaculture Newsletter**, n. 24, p. 10-14, 2000.

BASTOS, R.K.X. (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro, RJ: Rima, ABES, 2003, 253 p.

BDOUR, A.N.; HAMDÍ, M.R.; TARAWNEHA, Z. Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region. **Desalination**, v. 237, p. 162–174, 2009.

BELLINGER, E.G.; SIGEE, D.C. **Freshwater algae: identification and use as bioindicators**. Wiley-Blackwell Publishing, 2010, 271 p.

BERNET, D.; SCHMIDT, H.; MEIER, W.; BURKHARDT-HOLM, P. WAHLI, T. Histopathology in fish: proposal for a protocol to assess aquatic pollution. **Journal of Fish Diseases**. v. 22, p. 25-34, 1999.

BERTONCINI, E.I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**. p. 152-169, 2008. Disponível em: [www.apta.sp.gov.br](http://www.apta.sp.gov.br). Acessado em: 04 de abril de 2012.

BICUDO, C. E M.; MENEZES, M. **Gênero de Algas de Águas Continentais do Brasil chave de identificação e descrições**. São Paulo. Rima, 2006.

BOURRELY, P. **Les algues d'eau douce : Initiation al systematique, v. 1 : Les algues vertes**. Paris, N. Boubée. 1972.

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

BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. **Pond aquaculture water quality management**. Kluwer Academic Publishers, 1998. 700 p.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERZWA, J.C.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**, 2 Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL, **Produção Pesqueira e Aquícola: Estatística 2008 e 2009**. Ministério da Pesca e Aquicultura, MPA, 2010, 30 p. Disponível em: <http://www.mpa.gov.br/mpa/seap/Jonathan/mpa3/dados/2010/Docs/Caderno%20Consolidação%20dos%20dados%20estatísticos%20final%20curvas%20-%20completo.pdf>. Acessado em: 20 de abril de 2011.

BREDEN, F.; PTACEK, M.B.; RASHED, M.; TAPHORN, D.; FIGUEIREDO, C.A. Molecular Phylogeny of the Live-Bearing Fish Genus *Poecilia* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 12, n. 2, p. 95–104, 1999.

BRYDGES, N.M.; BOULCOTT, P.; ELLIS, T.; BRAITHWAITE, V.A. Quantifying stress responses induced by different handling methods in three species of fish. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 116, p. 295–301, 2009.

CAMARGO, M.M.P.; MARTINEZ, C.B.R. Histopathology of gills, kidney and liver of a Neotropical fish caged in an urban stream. **Neotropical Ichthyology**, v. 5, n. 3, p. 327-336, 2007

CÁNEPA, M.E.; PEREIRA, S.J.; LANNA, E.A. Água e Economia. In: BICUDO, C.E.M.; TUNDISI, J.G.; Scheuenstuhl, M.C.B. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. p. 41-54, 2010.

CARMICHAEL, W.W.; AZEVEDO, S. M. F. O.; MOLICA, R. J. R.; JOCHIMSEN, E. M.; LAU, S. Human fatalities from cyanobacteria: chemical and biological evidences for cyanotoxins. **Environmental Health Perspectives**, v.109, n. 07, p. 663-668, 2001.

CEARÁ, 2010. DECRETO Nº 30.159, de 03 de maio de 2010. Disponível em: <http://portal.cogerh.com.br/categoria3/legislacao-estadual/decretos/Decreto-30.159-03-maio-2010.pdf>. Acessado em: 24 de fev. de 2012.

CHANG, S.; ZDANOWICZ, V. S.; MURCHELANO, R. A. Associations between liver lesions in winter flounder (*Pleuronectes americanus*) and sediment chemical contaminants from north-east United States estuaries. **Journal of Marine Sciences**, v. 55, p. 954-969, 1998.

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

COUTINHO, C.; GOKHALE, K.S. Selected oxidative enzymes and histopathological changes in the gills of *Cyprinus carpio* and *Oreochromis mossambicus* cultured in secondary sewage effluent. **Water Research**, v. 34, p. 2997-3004, 2000.

CRIVELENTI, L.Z.; BORIN, S; PIRTOUSCHEG, A; et al. Desempenho econômico da criação de tilápias do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em sistema de produção intensiva. **Vet. Not.**, v.12, n.2, p. 117-122, 2006.

CYBIS, L. F.; BENADTI, M. M.; MAIOZONAVE, C. R. M.; WERNER, V. R.; DOMINGUES, C. D. **Manual para estudo de cianobactérias planctônicas em mananciais de abastecimento público: Caso da Represa Lomba do Sabão e Lago Guaíba, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.** Porto Alegre, PROSAB. 2006.

DOODS, W.K. **Freshwater Ecology. Concepts and Environmental Applications.** Academic Press. 2002. 569 p.

EDWARDS, P. **Reuse of Human Waste in Aquaculture. A Technical Review.** UNDP - World Bank Water and Sanitation Program. 1992, 350 p.

ELLIS, T., NORTH, B., SCOTT, A.P., BROMAGE, N.R., PORTER, M., GADD, D. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. **J. Fish Biol.** 61, 493–531, 2002.

EMERSON, K.R., RUSSO, R.C., LUND, R.E. *et al.* Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. **J. Fish. Res. Board Can.**, v. 32, p. 2377-2383, 1975.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia.** 2º Ed., Rio de Janeiro: Interciência, 1998, 602 p.

FANTA, E.; RIOS, F.S.; ROMÃO, S.; VIANNA, A.C.C.; FREIBERGER, S. Histopathology of the fish *Corydoras paleatus* contaminated with sublethal levels of organophosphorus in water and food. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 54, p. 119-130, 2003.

FAO, 2007. **The State World Fisheries and Aquaculture 2006.** FAO Fisheries and Aquaculture Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma, 2007.

FAO, 2008. Fishery and Aquaculture Production. FAO Yearbook, 2008. disponível em: [ftp://ftp.fao.org/FI/CDrom/CD\\_yearbook\\_2008/navigation/index\\_content\\_aquaculture\\_e.htm](ftp://ftp.fao.org/FI/CDrom/CD_yearbook_2008/navigation/index_content_aquaculture_e.htm). Acessado em: 27 de abril de 2011.

FAWC, 2009. **Five Freedoms.** Farm Animal Welfare Council ([www.fawc.org.uk](http://www.fawc.org.uk)). Acessado em: 15 de abril de 2011.

FELIZATTO, M.R. **Reúso de água em piscicultura no Distrito Federal: potencial para pós-tratamento de águas residuárias associado à produção de pescado.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília. Brasília: 2000. p.

FESSEHAYE, Y.; KOMEN, H.; REZK, M.A.; VAN ARENDONK, J.A.; BOVENHUIS, H. Effects of inbreeding on survival, body weight and fluctuating asymmetry (FA) in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, v. 264, p. 27–35, 2007.

FLORENCIO, L.M.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Coord.). **Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006, 427 p.

FONTENELE, R.E.S. Determinação da tarifa de reuso de água no Distrito Industrial de Fortaleza sob a ótica do custo marginal de longo prazo e do método de avaliação contingente. **Organizações Rurais & Agroindustriais**. Lavras, v. 09, n. 02, p. 175-188, 2007.

GERNHOFER, M.; PAWET, M.; SCHRAMM, M.; MÜLLER, E.; TRIEBSKORN, R. Ultrastructural biomarkers as tools to characterize the health status of fish in contaminated streams. **Journal of Aquatic Ecosystem, Stress and Recovery**, v. 8, p. 241-260, 2001.

GHOSH, C.; FRIJNSB, J.; LETTINGA, G. Performance of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) dominated integrated post treatment system for purification of municipal waste water in a temperate climate. **Bioresource Technology**, v. 69, p. 255-262, 1999.

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.

GIENSY, J.P.; SNYDER, E.M.; NICHOLS, K.M.; SNYDER, S.A.; VILLALOBOS, S.A.; JONES, P.D.; FITZGERALD, S.D. Examination of reproductive endpoints in goldfish (*Carassius aurata*) exposed in situ to municipal sewage treatment plant effluent discharges in Michigan, USA. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 22, p. 2416-2431, 2003.

GOMIERO, L.M.; BRAGA, F.M.S. Relação peso:comprimento e fator de condição para *Cichla* cf. *ocellaris* e *Cichla monoculus* (Perciformes, Cichlidae) no reservatório de Volta Grande, rio Grande - MG/SP. **Acta Scientiarum: Biological Sciences**. Maringá, v. 25, n. 1, p. 79-86, 2003.

HARNISZ, M.; TUCHOLSKI, S. Microbial quality of common carp and pikeperch fingerlings cultured in a pond fed with treated wastewater. **Ecological Engineering**, v. 36, p. 466–470, 2010.

HERNÁNDEZ, M.R.; BÜCKLE L.F.R. Temperature tolerance polygon of *Poecilia sphenops* Valenciennes (Pisces: Poeciliidae). **Journal of Thermal Biology**. v. 27, p. 1–5, 2002.

---

Preference, tolerance and resistance responses of *Poecilia sphenops* Valenciennes, 1846 (Pisces: Poeciliidae) to thermal fluctuations. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 38, n. 3, p. 427-437, 2010.

HERNÁNDEZ, M.R.; BÜCKLE L.F.R.; ESPINA, S. Temperature preference and acclimation in *Poecilia sphenops* Valenciennes (Pisces: Poeciliidae). **Aquaculture Research**. v. 33, p. 933-940, 2002.

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico. In: TUNDISI, J.G.; REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, J.B. **Águas Doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. p. 269-324, 2006.

HESPANHOL, I. Conservação e reúso como instrumentos de gestão para atenuar os custos de cobrança pelo uso da água no setor industrial. In: BICUDO, C.E.M.; TUNDISI, J.G.; Scheuenstuhl, M.C.B. **Águas do Brasil: análises estratégicas**. p. 58-76, 2010.

HOSETTI, B.B.; FROST, S. A review of the sustainable value of effluents and sludges from wastewater satabilization ponds. **Ecological Engineering**, v. 5, p. 421-431, 1995.

HOSSAIN, M.Y.; AHMED, Z.F.; LEUNDA, P.M.; JASMINE, S.; OSCOZ, J.; MIRANDA, R.; OHTOMI, J. Condition, length–weight and length–length relationships of the Asian striped catfish *Mystus vittatus* (Bloch, 1794) (Siluriformes: Bagridae) in the Mathabhanga River, southwestern Bangladesh. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 22, p. 304–307, 2006a.

HOSSAIN, M.Y.; AHMED, Z.F.; LEUNDA, P.M.; ROKSANUL-ISLAM, A.K.M.; JASMINE, S.; OSCOZ, J.; MIRANDA, R.; OHTOMI, J. Length–weight and length–length relationships of some small indigenous fish species from the Mathabhanga River, southwestern Bangladesh. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 22, p. 301–303, 2006b.

JAIME-CEBALLOS, B.J.; HERNÁNDEZ-LLAMAS, A.; GARCIA-GALANO, T.; VILLARREAL, H. Substitution of *Chaetoceros muelleri* by *Spirulina platensis* meal in diets for *Litopenaeus schmitti* larvae. **Aquaculture**, v. 260, p. 215–220, 2006.

KELLNER, E.; PIRES, C.E. **Lagoas de estabilização: projetos e operação**. Rio de Janeiro: ABES, 1998, 244 p.

KHALIL, M.T.; HUSSEIN, H.A. Use of waste water for aquaculture: an experimental field study at a sewage-treatment plant, Egypt. **Aquaculture Research**, v. 28, nº 11, p.859 – 865, 2008.

KIM M.K.; PARK, J.W.; PARK C.S. ;KIM S.J. ; JEUNE K.H. ; CHANG, M.U.; ACREMAN, J. Enhanced production of *Scenedesmus* spp. (green microalgae) using a new medium containing fermented swine wastewater. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 2220–2228, 2007.

KODAMA, G.; ANNUNCIAÇÃO, W.F.; SANCHES, E.G.; GOMES, C.H.A.M.; TSUZUKI, M.Y. Viabilidade econômica do cultivo do peixe palhaço, *Amphiprion ocellaris*, em sistema de recirculação. **Bol. Inst. Pesca**, v. 37, n. 01, p. 61 – 72, 2011.

KOMÁREK, J. **Das Phytoplankton des Süßwassers**. 7. Teil Chlorococcales. Tomo I, Tomoll, Stuttgart, 1983.

KOMÁREK, J.; ANAGNOSTIDIS, K.; **Cyanoprokaryota**. 1. Teil Chroococcales. Gustav Fisher, 549pp, 1999.

KÖNIG, A.; CEBALLOS, B.S.O.; ALMEIDA, M.V.A. Observações sobre a população algal em efluentes de lagoas de estabilização em escala real no estado da Paraíba – Brasil. **XXVII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, Cancun, México, 2002.

KUBTIZA, F. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial**. Jundiaí: F. Kubitza, 2000. 285p.

KÜÇÜK, S. The effects of water type on growth, survival and condition of *Poecilia velifera*. **African Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 5, p. 760-763, 2010.

LACHI, G.B.; SIPAÚBA-TAVARES, L.H. Qualidade da água e composição fitoplanctônica de um viveiro de piscicultura utilizado para fins de pesca esportiva e irrigação. **B. Inst. Pesca**, v. 34, n. 1, p. 29 - 38, 2008.

LE CREN, E.D. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonadal weight condition in the perch (*Perca fluviatilis*). **Journal of Animal Ecology**. v. 20, p. 201-219. 1951.

LEMONS; J.R.G.; TAVARES-DIAS, M.; MARCON, J.L.; LEMOS, P.E.M.; AFFONSO, E.G.; ZAIDEN, S.F. Relação peso:comprimento e fator de condição em espécies de peixes ornamentais do Rio Negro, Estado do Amazonas (Brasil). **IV Congresso Iberoamericano Virtual de Acuicultura. CIVA 2006** (<http://www.civa2006.org>), p. 721-725. 2006.

LEONARDO, A.F.G; TACHIBANA, L; CORRÊA, C.F; BACCARIN, A.E; SCORVO FILHO, J.D. Avaliação econômica da produção de juvenis de tilápia-do-nilo, alimentados com ração comercial e com a produção primária advinda da adubação orgânica e inorgânica. **Custos e @gronegocio**, v. 5, n. 3, p. 22-35, 2009.

LEUNDA, P. M.; OSCOZ, J.; MIRANDA, R. Length–weight relationships of fishes from tributaries of the Ebro River, Spain. **Journal of Applied Ichthyology**, v. 22, p. 299–300, 2006.

LIVENGOOD, E.J.; CHAPMAN, F.A. The ornamental fish trade: an introduction with perspectives for responsible aquarium fish ownership. University of Florida, **IFAS extension**, FA 124. 2007. Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu/FA124>. Acessado em: 25 de abril de 2011.

LUCINDA, P.H.F. Family Poeciliidae. In: REIS, R.E., KULLANDER, S.O., FERRARIS, C.J. (Eds.), **Check List of the Freshwater Fishes of South and Central America**. EDIPUCRS, Porto Alegre, Brazil, pp. 555–581, 2003.

LUCINDA, P.H.F., REIS, R.E. Systematics of the subfamily Poeciliinae Bonaparte (Cyprinodontiformes: Poeciliidae), with an emphasis on the tribe Cnesterodontini Hubbs. **Neotrop. Ichthyol.** v. 3, p. 1–60, 2005.

MARENGONI, N.G.; BUENO, G.W.; GONÇALVES JÚNIOR, A.C. *et al.* Desempenho produtivo e viabilidade econômica de juvenis de tilápia-do-Nilo cultivados na região

oeste do Paraná sob diferentes densidades de estocagem. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, v.9, n.2, p. 341-349, 2008.

MARQUES, N.R.; HAYASHI, C.; SOUZA, S.R.; SOARES, T. Efeito de diferentes níveis de arraçoamento para alevinos de carpa-capim (*Ctenopharyngodon idella*) em condições experimentais. **B. Inst. Pesca**, São Paulo, v. 30, n. 01, p. 51 - 56, 2004.

MATSUZAKI, M.; MUCCI, J.L.N.; ROCHA, A.A. Comunidade fitoplanctônica de um pesqueiro na cidade de São Paulo. *Rev. Saúde Pública*. v. 38, n. 5, p. 679-686, 2004.

MENDES, B.; FONSECA, P.; CAMPOS, A. Weight-length relationships for 46 fish species of the Portuguese west coast. **Journal of Applied Ichthyology**. v. 21, p. 355-361, 2004.

MEREDITH, R.W.; PIRES, M.N.; REZNICK, D.N.; SPRINGER, M.S. Molecular phylogenetic relationships and the coevolution of placentotrophy and superfetation in *Poecilia* (Poeciliidae: Cyprinodontiformes). **Molecular Phylogenetics and Evolution**. v. 59, p. 148–157, 2011.

MOHAMED, F.A.S. Histopathological Studies on *Tilapia zillii* and *Solea vulgaris* from Lake Qarun, Egypt. **World Journal of Fish and Marine Sciences**. v. 1, n. 1, p. 29-39, 2009.

MONTEIRO, C.A.B. **Avaliação da piscicultura em esgoto doméstico tratado**: aspectos zootécnicos, ambientais e de qualidade do pescado produzido. 137p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil - Saneamento Ambiental) Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

MONTEIRO, C.A.B.; SANTOS, A.B.; SANTOS, E.S.; MOTA, S.; ARARIPE, M.N.B.A. Efeito da aeração por *air-lift* na alevinagem de tilápia do Nilo em esgoto doméstico tratado. **Revista DAE**. v. ,p. , 2011.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 4. ed., Rev. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

\_\_\_\_\_. **Gestão ambiental de recursos hídricos**. 3. ed., Atual. e Rev. Rio de Janeiro: ABES, 2008.

MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. (Organizadores) **Reúso de águas em irrigação e piscicultura**. Fortaleza-CE, UFC, p. 148-172. 2007.

MOTA, S.; VON SPERLING. M. (Organizadores) **Nutrientes de esgotos sanitários: utilização e remoção**. ABES; Rio de Janeiro, 425 p., 2009.

MUANGKEOW, B.; IKEJIMA, K.; POWTONGSOOK, S.; YI, Y. Effects of white shrimp, *Litopenaeus vannamei* (Boone), and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., stocking density on growth, nutrient conversion rate and economic return in integrated closed recirculation system. **Aquaculture**. v. 269, p. 363–376, 2007.

MUGA, H.E.; MIHELICIC; J. R. Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of Environmental Management* v. 88. p. 437–447. 2008.

NASCIMENTO, S.C.O.; ARAÚJO, R.C.P. *Avaliação da sustentabilidade do projeto de piscicultura Curupati-peixe no açude Castanhão, Jaguaribara-CE*. In: **XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração E Sociologia Rural**. Rio Branco-AC, 2008.

NASCIMENTO, A. A.; ARAÚJO, F. G.; GOMES, I. D.; MENDES, R. M. M.; SALES, A. Fish Gills Alterations as Potential Biomarkers of Environmental Quality in a Eutrophized Tropical River in South-Eastern Brazil. *Journal of Veterinary Medicine*. v. 01, p. 01-08, 2012.

NUVOLARI, A. (Coord.) **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo-SP: Edgard Blücher, 520 p., 2003.

NYAKAIRU, G.W.A.; NAGAWA, C.B.; MBABAZI, J. Assessment of cyanobacteria toxins in freshwater fish: A case study of Murchison Bay (Lake Victoria) and Lake Mburo, Uganda. *Toxicon*, v. 55, p. 939–946, 2010.

OLIVEIRA, R.P.C.; SILVA, P.C.; SILVA, R.F.; GOMES, J.P.; PÁDUA, D.M.C.; SILVEIRA FILHO, P.R. ; MACHADO JÚNIOR, L.C.; AGUIAR, M.S. Avaliação econômica da produção da tilápia-do-nylo em tanques com diferentes esquemas de troca de água no sistema raceway. *Ciência Animal Brasileira*, Goiânia, v. 11, n. 4, p. 760-763, 2010.

OSCOZ, J.;CAMPOS, F.; ESCALA, M.C. Weight–length relationships of some fish species of the Iberian Peninsula. *Journal of Applied Ichthyology*, v. 21, p. 73–74, 2005.

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

PESCE, S.F., WUNDERLIN, D.A. Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquia River. *Water Research*, v. 34, p. 2915–2926, 2000.

PHAN-VAN, M.; ROUSSEAU, D.; DE PAUW, N. Effects of fish bioturbation on the vertical distribution of water temperature and dissolved oxygen in a fish culture-integrated waste stabilization pond system in Vietnam. *Aquaculture*, v. 281, p. 28-33, 2008.

PIEDRAS, S.R.N.; MORAES, P.R.R.; POUHEY, J.L.O.F. Crescimento de juvenis de Jundiá (*Rhamdia quelen*), de acordo com a temperatura da água. *B. Inst. Pesca*. v.30, n. 2, p. 177 - 182, 2004.

PIEDRAS, S.R.N.; MORAES, P.R.R.; POUHEY, J.L.O.F. Desempenho de juvenis de catfish (*Ictalurus punctatus*) em diferentes temperaturas. *R. Bras. Agrociência*, v. 12, n. 3, p. 367-370, 2006.

PILLAY, T.V.R. Water and wastewater use. In: Pillay, T.V.R. (Ed.), ***Aquaculture and the Environment***, pp. 49–55, Cambridge University Press, Great Britain, 1992.

PTACEK, M.B. Mating Signal Divergence, Sexual Selection, and Species Recognition in Mollies (Poeciliidae: *Poecilia Mollienesia*). In: Grier H.J.; Uribe, M.C. (Ed.) ***Viviparous Fishes***. New Life Publications, Homestead, Florida, p 73-89, 2005.

PTACEK, M.B. Interspecific mate choice in sailfin and shortfin species of mollies. ***Animal Behaviour***, v. 56, p. 1145–1154, 1998.

RABELO, L.S. ***Indicadores de sustentabilidade: uma seqüência metodológica para a mensuração do progresso ao desenvolvimento sustentável***. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

RAMOS, J.B. Bem-estar animal. A ciência de respeito aos animais. ***Informativo IEA***, n. 68, p. 4-5, 2006.

REVIERS, B. ***Biologia e filogenia de algas***; trad. FRANCESCHINI, I.M. Porto Alegre: Artmed, 280 p., 2006.

RIBEIRO, F.A.S.; LIMA, M.T.; FERNANDES, C.J.B.K. Panorama do mercado de organismos aquáticos ornamentais. ***Boletim da Sociedade Brasileira de Limnologia***. 2010. Disponível em: <http://www.sblimno.org.br/boletim/artigos/setembro-2010-no-382/51-artigos-de-formacao/74-panorama-do-mercado-de-organismos-aquaticos-ornamentais>. Acessado em: 30 de abril de 2011.

SABBAG, O.J; ROZALES, R.R; TARSITANA, M.A.A; SILVEIRA, A.N. Análise econômica da produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em um modelo de propriedade associativista em Ilha Solteira/SP. ***Custos e @gronegocio***, v. 3, n. 2, 2007.

SABESP, 2012. Informação disponível no sítio da companhia. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=131> Acessado em: 02 de março de 2012.

SANT'ANA, C.L; AZEVEDO, M.T; AGUJARO, L.F; CARVALHO, M.C; CARVALHO, L.R.; SOUSA, R.C.R. ***Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras***. Interciência, Rio de Janeiro, Brasil. 2006.

SANTOS, A.F.G.N.; SANTOS, L.N.; ARAÚJO, F.G.; SANTOS, R.N.; ANDRADE, C.C.; SILVA, P.S.; ALVARENGA, R.J.; CAETANO, C.B. Relação peso:comprimento e fator de condição do acará, *Geophagus brasiliensis*, no reservatório de Lajes, RJ. ***Rev. Univ. Fed. Rural, Série Ciências da Vida***, v. 22, n. 2, p. 115 – 121, 2002.

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

SANTOS, E.S.; FURTADO-NETO, M.; MOTA, S. *et al.* Cultivo de tilápia do Nilo em esgoto doméstico tratado, com diferentes taxas de alimentação. **Revista DAE**, v. 180, p. 4-11, 2009a.

SANTOS, E.S.; OLIVEIRA, M.A.; MOTA, S. *et al.* Crescimento e qualidade dos alevinos de tilápia do Nilo produzidos em esgoto doméstico tratado. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, n. 2, p.232-239, 2009b.

SANTOS, E.S.; MOTA, S.; SANTOS, A.B.; MONTEIRO, C.A.B.; FONTENELE, R.M.M. Avaliação da sustentabilidade ambiental do uso de esgoto doméstico tratado na piscicultura. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 45-54, 2011.

SAWYER, C., MCCARTY, P. **Chemistry for Environmental Engineering**: McGraw-Hill. 1978. 532p.

SAXBY, A.; ADAMSA, L.; SNELGROVE, D.; WILSON, R.W.; SLOMAN, K.A. The effect of group size on the behaviour and welfare of four fish species commonly kept in home aquaria. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 125, p. 195–205, 2010.

SCHLUPP, I.; PARZEFALL, J.; SCHARTL, M. Biogeography of the Amazon molly, *Poecilia formosa*. **Journal of Biogeography**, v. 29, p. 1- 6, 2002.

SCORVO FILHO, J.D.; PINTO, C.S.R.M.; VERANI, J.R.; SILVA, A.L. Custo operacional de produção da criação de tilápias vermelha da flórida e tailandesa em tanques-rede de pequeno volume. **Informações Econômicas**, v. 36, n. 10, 2006.

SEVRIN-REYSSAC, J.; PLETIKOSIC, M. Cyanobacteria in fish ponds. **Aquaculture**, v. 88, n. 1, p. 1-20, 1990.

SILVA, P.C.; KRONKA, S.N.; TAVARES, L.H.S. *et al.* Avaliação econômica da produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*) em sistema “raceway”. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá-PR, v. 25, n. 1, p. 9- 13, 2003.

SILVA, L.B.; BARCELLOS, L.J.G.; QUEVEDO, R.M.; 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.

SINOVCIC, G.; FRANICEVIC, M.; ZORICA, B.; CIKES-KEC, V. Length–weight and length–length relationships for 10 pelagic fish species from the Adriatic Sea (Croatia). **Journal of Applied Ichthyology**, v. 20, p. 156–158, 2004.

SOUZA, S.M.G.; OLIVEIRA, D.; SANTOS, C.V.; GOMES, M.E.C.; ESTEVES, C.D. Desempenho e conversão alimentar de juvenis de carpa capim (*Ctenopharyngodon idella*) alimentadas com *Azolla filiculoides* e ração com baixo teor lipídico. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 29, n. 2, p. 459-464, 2008.

SPERLING, M.V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Volume 1: Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Belo Horizonte, 2005, 134 p.

STICKNEY, R.R. **Aquaculture: an introductory text.** CABI Publishing. 2005, 265 p.

STRAŠHRABA, M.; TUNDISI, J.G. (Ed.) **Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos. Volume 9 – Gerenciamento da qualidade da água de represas.** São Carlos: IELC; IEE, RiMa Artes e Textos, 2000, 280 P.

STREBLE, H.; KRAUTER, D. **Atlas de los Microorganismos de Agua Dulce: La vida en una gota de agua.** Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1987.

TAXONOMICON. Disponível em: <http://taxonomicon.taxonomy.nl/TaxonTree.aspx?id=44613&tree=0.1>. Acessado em: 01 de maio de 2011.

TLUSTY, M. The benefits and risks of aquacultural production for the aquarium trade. **Aquaculture**. v. 205, p. 203–219, 2002.

THOPHON, S.; KRUATRACHUE, V.; UPATHAN, E.S.; POKETHITIYOOK, P.; SAHAPHONG, S.; JARIKHUAN, S. Histopathological alterations of white seabass, *Lates calcarifer* in acute and subchronic cadmium exposure. **Environmental Pollution**, v. 121, p. 307-320, 2003.

TRUJILLO-JIMÉNEZ, P.; BETO, H.T. Alimentación de los peces dulceacuícolas tropicales *Heterandria bimaculata* y *Poecilia sphenops* (Cyprinodontiformes: Poeciliidae). **Rev. Biol. Trop.**, v. 55, n. 02, p. 603-615, 2007

TSUTIYA, M. T. Uso agrícola dos efluentes das lagoas de estabilização de Estado de São Paulo. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL.** (21º, 2001, João Pessoa). Anais. Abes.

TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Limnologia.** Oficina de Textos; São Paulo, 631 p., 2008.

TURKER, H.; EVERSOLE, A.G.; BRUNE, D.E. Filtration of green algae and cyanobacteria by Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, in the Partitioned Aquaculture System. **Aquaculture**, v. 215, p. 93–101, 2003.

VALENTI, W.C. A aqüicultura Brasileira é sustentável? **IV Seminário Internacional de Aqüicultura, Maricultura e Pesca, Aquafair 2008**, Florianópolis, 13-15 de maio de 2008. p. 1-11 ([www.avesui.com/anais](http://www.avesui.com/anais)).

VEIGA, M.L.; RODRIGUES, E.L.; PACHECO, F.J.; RANZANI-PAIVA, M.J.T. Histopathologic changes in the kidney tissue of *Prochilodus lineatus*, 1836 (Characiformes, Prochilodontidae) induced by sublethal concentration of Trichlorfon exposure. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45; p. 171-175, 2002.

WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater. Volume 3 - Wastewater and excreta use and aquaculture.** World Health Organization, 2006, 140 p.

XIE, P. Gut contents of silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, and the disruption of a centric diatom, *Cyclotella*, on passage through the esophagus and intestine. ***Aquaculture***, v. 180, p. 295–305, 1999.

XIE, P. Gut contents of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) and the processing and digestion of algal cells in the alimentary canal. ***Aquaculture***, v. 195, p. 149–161, 2001.

ZANOTELLI, C.T.; PERES, A.C.; PERDOMO, C.C.; COSTA, R.H.R. Identificação de algas e clorofila a em lagoas facultativas no tratamento de dejetos suínos. **VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. VI SIBESA.** ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vitória-ES, 2002.

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

**APÊNDICE A - Avaliação da sustentabilidade ambiental do uso de esgoto doméstico tratado na piscicultura**