

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO**

**AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS
NO DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DE ALEVINOS DE
TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*) CULTIVADOS EM
DIFERENTES DENSIDADES**

Rafael Bittencourt Vieira

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
2018**

**AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS NO DESEMPENHO
ZOOTÉCNICO DE ALEVINOS DE TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*)
CULTIVADOS EM DIFERENTES DENSIDADES**

Rafael Bittencourt Vieira

Engenheiro de Pesca

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2016.

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Ciência Animal (Produção Animal).

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Norma Suely Evangelista-Barreto

Co-orientador: Prof. Dr. Leopoldo Melo Barreto

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA

V658a

Vieira, Rafael Bittencourt

Avaliação da tecnologia de Bioflocos no desempenho zootécnico de alevinos de tilápia (*Oreochromis niloticus*) Cultivados em diferentes densidades / Rafael Bittencourt Vieira . - Cruz das Almas, BA, 2018.

74f.; il.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Norma Suely Evangelista Barreto

Co-Orientador: Prof. Dr. Leopoldo Melo Barreto

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrária, Ambientais e Biológicas, Mestrado em Ciência Animal.

1. Piscicultura. 2. Aqüicultura. 3. Sistema de Produção. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrária, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 639.3

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE MESTRADO**

**AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS
NO DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DE ALEVINOS DE
TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*) CULTIVADOS EM
DIFERENTES DENSIDADES**

**Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação
Rafael Bittencourt Vieira**

Aprovado em 31 de Outubro de 2018

**Prof. Dr. Leopoldo Melo Barreto
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Co-orientador**

**Prof. Dr. Moacyr Serafim Júnior
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Examinador Interno**

**Prof. Dr. José Arlindo Pereira
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Examinador Externo**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente manifesto meu profundo agradecimento a Deus e a oportunidade que Ele me proporcionou em estar presente a cada instante de minha caminhada, incluindo a última etapa experimental desse trabalho, na qual Ele se fez presente de uma forma a qual eu ainda não havia percebido em minha vida.

A minha querida e amada esposa Karina Zanoti Fonseca pelo carinho, paciência, companheirismo, cumplicidade e testemunho de fé inabalável em Cristo, sua presença em minha vida me torna um homem muito melhor.

Aos meus amados e queridos pais, David Tavares Vieira e Neuza Maria Bittencourt Vieira, pelo amor, carinho e os exemplos de uma vida.

Ao meu querido avô Francisco que não mais vive entre nós, assim como ao meu amigo Oton Silva.

Aos meus orientadores Norma Suely Evangelista-Barreto e Leopoldo Melo Barreto por todos os direcionamentos, mas principalmente pela confiança em mim depositada.

Aos Professores Moacyr Serafim Júnior, Carla Fernandes Macedo, José Arlindo Pereira, Soraia Barreto Aguiar Fonteles, Celso Luiz Borges de Oliveira, Clovis Matheus Pereira, Mariana Cutolo de Araujo e Marcelo Carneiro de Freitas por todo o carinho e torcida.

Aos mais novos amigos Luiza Teles Barbalho Ferreira e Alison Eduardo Melo da Paixão pela acolhida e pré-disposição em ajudar sempre.

Aos queridos Mauricio Lordelo e Luciana Lordelo.

A Denise Soledade pelo apoio.

A Marilia Costa e Thais Silva.

A Rosimeire dos Santos Conceição de Jesus (Meirinha) pelas ligações telefônicas durante as madrugadas frias e chuvosas e Emile Bárbara Morais Araújo pelas mensagens as seis da manhã.

Agradeço aos graduandos em Engenharia de Pesca, Cassiano Morais meu velho amigo de todas as horas, Thales Sá pelas conversas e por sua grande empolgação com o cultivo em Bioflocos, Fabiana Souza por toda a sua boa vontade e curiosidade, Rafael Queiroz e Gabriel Rocha Clarindo por sua ajuda despreziosa.

Agradeço ao povo brasileiro pela bolsa a mim concedida através da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

Enfim agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização desse sonho.

AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS NO DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DE ALEVINOS DE TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*) CULTIVADOS EM DIFERENTES DENSIDADES

RESUMO: O sistema de bioflocos (BioFlocs Technology - BFT) oferece a possibilidade de produzir peixe com baixo custo hídrico, pois dispensa grandes trocas parciais de água. Nesse sistema, a amônia é assimilada pela ação de microrganismos heterotróficos, diferentemente dos sistemas convencionais de cultivo. Os microrganismos presentes no BFT se aglomeram com outras partículas formando flocos que são mantidos em suspensão por meio de aeradores. A manutenção da biomassa microbiana se dá pelo controle da relação entre as concentrações de carbono e nitrogênio (C:N) na água. A Tilápia é o peixe mais cultivado no Brasil e oferece grande produtividade por sua rusticidade e crescimento rápido alimentando-se também de organismos microscópicos na coluna d'água se apresentando como uma espécie bastante promissora para o cultivo em bioflocos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho zootécnico de alevinos de Tilápia em BFT. A obtenção do inóculo ocorreu em 62 dias, a repicagem do sistema durou 87 dias e a etapa final, com a presença dos alevinos, 64 dias. Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em que o ganho de peso dos alevinos de Tilápia foi avaliado em sistema de bioflocos sob diferentes densidades (200, 400, 600, 800 e 1000 exemplares por m³), com quatro repetições em cada densidade. Como controle foi usado Sistema de Recirculação de Água (SRA) com quatro repetições contendo 62 peixes em cada tanque, totalizando 24 unidades experimentais. Os peixes foram alimentados com ração comercial contendo 35% de proteína, e foi utilizado o açúcar mascavo (fonte de carboidrato) em uma relação C:N de 20:1. Diariamente foram monitorados os parâmetros físicos químicos de oxigênio dissolvido (OD), amônia (NH₃), pH e temperatura, semanalmente foi monitorado o nitrito e a alcalinidade e realizadas as biometrias. Como resultado dos ensaios e análise dos dados de ganho de peso dos indivíduos nas cinco densidades, se obteve a função linear $Y = - 0,0017X^2 + 3,724X - 87,77$, com $r^2=0,864$ e CV= 14,23%. Não foi encontrada diferença significativa ($p<0,05$) entre os dados de sobrevivência entre os diferentes tratamentos. Ao final também foi identificada a comunidade planctônica no sistema, apresentando grande variedade, predominando rotíferos e diatomáceas. Associada aos dados de sobrevivência e demanda de tempo por densidade de cultivo, além da variação das medições dos parâmetros físico-químicos da água do cultivo, consideramos a densidade de 800 peixes/m³ a mais indicada dentre as testadas, exibindo ganho de peso médio de 1.891,25 ± 151,24g, sendo o índice de eficiência produtiva em BFT (274,96) aproximadamente três vezes superior ao índice encontrado no tratamento controle (87,43), demonstrando que o sistema de bioflocos melhora o desempenho zootécnico da Tilápia (*Oreochromis niloticus*), em alta densidade, na fase inicial de cultivo.

Palavras chave: Piscicultura; Sistemas de produção; Aquicultura; Ganho de peso.

ABSTRACT The Bioflocs Technology system (BFT) offers the possibility of producing fish with low water cost, since it does not require large partial water exchanges. In this system, ammonia is assimilated by the action of heterotrophic microorganisms, unlike conventional systems of cultivation. The microorganisms present in the BFT agglomerate with other particles forming flakes which are held in suspension by means of aerators. The maintenance of microbial biomass occurs by controlling the relationship between carbon and nitrogen (C: N) concentrations in water. Tilapia is the most cultivated fish in Brazil and offers great productivity due to rusticity and rapid growth also feeding on microscopic organisms in the water column presenting as a very promising species for cultivation in bioflocs. The present work had as objective to evaluate the zootechnical performance of Tilapia fingerlings in BFT. The inoculum was obtained in 62 days, the recovery of the system lasted 87 days and the final stage, with the presence of the fingerlings, 64 days. A completely randomized design (DIC) was used, in which the weight gain of Tilapia fingerlings was evaluated in a biofloc system at different densities (200, 400, 600, 800 and 1000 copies per m³), with four replications in each density. As a control, water recirculation system (SRA) was used with four replications containing 62 fish in each tank, totaling 24 experimental units. The fish were fed commercial feed containing 35% protein, and the brown sugar (carbohydrate source) was used in a C: N ratio of 20: 1. The chemical physical parameters of dissolved oxygen (OD), ammonia (NH₃), pH and temperature were monitored daily, nitrite and alkalinity were monitored weekly and biometrics were performed. As a result of the tests and analysis of the data of weight gain of the individuals in the five densities, the linear function $Y = - 0.0017X^2 + 3,724X - 87,77$, with $r^2 = 0,864$ and $CV = 14,23\%$ was obtained. No significant difference ($p < 0.05$) was found between the survival data between the different treatments. At the end, the planktonic community in the system was also identified, presenting great variety, predominating rotifers and diatoms. In addition to the variation of the measurements of the physical and chemical parameters of the culture water, we considered the density of 800 fish / m³ the most indicated among the tested ones, exhibiting average weight gain of $1,891.25 \pm 151.24$ g, with the BFT productive efficiency index (274.96) approximately three times higher than the index found in the control treatment (87.43), demonstrating that the bioflocosis system improves the zootechnical performance of Tilapia (*Oreochromis niloticus*), in high density, in the initial phase of cultivation

KEYWORDS: Pisciculture; Production systems; Aquaculture; Weight gain.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Produção mundial de organismos aquáticos em 2016.	19
Figura 2 Exemplar de Tilápia do Nilo, <i>Oreochromis niloticus</i> (Linnaeus, 1758).....	23
Figura 3 Fluxograma dos principais processos presentes em bioflocos.....	31
Figura 4 Visão panorâmica externa da estufa experimental onde foi realizado o cultivo de Tilápia do Nilo em sistema de bioflocos.	41
Figura 5 Layout do delineamento experimental apresentando a distribuição dos tratamentos.....	43
Figura 6 Variação da amônia e do nitrito durante o período de maturação do inóculo de bioflocos	52
Figura 7 Variação da alcalinidade durante o período de maturação do inóculo de bioflocos	52
Figura 8 (a) Aspecto macroscópico esverdeado característico da fase inicial do sistema BFT; (b) Aspecto macroscópico da água parcialmente marrom, cor característica da fase intermediária; (c) Aspecto macroscópico marrom, característico da fase final da maturação dos sistemas BFT.....	54
Figura 9 (a, b, c) Bioflocos formados observados ao microscópio (40x).	54
Figura 10 Tanques com bioflocos maturados preparados para receberem os alevinos de Tilápia.....	55
Figura 11 Variação da concentração média de amônia total durante 64 dias nos 05 tratamentos (BFT) e no controle (SRA).	58
Figura 12 Variação da concentração média de nitrito durante 64 dias nos 05 tratamentos (BFT) e no controle (SRA).	58
Figura 13 Variação da concentração média de oxigênio dissolvido, às 08h, por tratamento, durante 64 dias.....	61
Figura 14 Variação da concentração média de oxigênio dissolvido, às 17h, por tratamento, durante 64 dias.....	61

Figura 15 Variação média do pH nos 05 tratamentos (BFT) e no tratamento controle (SRA).....	62
Figura 16 Variação média da alcalinidade nos 05 tratamentos (BFT).....	62
Figura 17 Decantador construído e utilizado no controle da concentração de sólidos em bioflocos.	64
Figura 18 (a) Chroococcus sp.; (b) Microspora spp.; (c) Ulothrix sp.; (d) Ostracoda sp.; (e) Ciliado sp.; (f) Chroococcus sp.1; (g)Ciliado sp.;(h) Phormidium sp.; (i) Lecane sp. 1; (j) Diatomácea; (k) Oscillatoria sp. 1; (l) Lepadella sp. 3.....	65
Figura 19 Ganho de peso nos 05 tratamentos (BFT) e no tratamento controle (SRA) durante 64 dias.....	68
Figura 20 Distribuição do ganho de peso nos 05 tratamentos (BFT) e no tratamento controle (SRA) em 64 dias.....	68
Figura 21 Resíduo padronizado- ANOVA dos 05 tratamentos (BFT).....	69
Figura 22 Dispersão e tendência dos dados de ganho de peso nos 05 tratamentos (BFT) durante 64 dias.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Sugestão de taxa de alimentação para Tilápias de acordo com o peso em temperatura ótima.	25
Tabela 2 Parâmetros físico químicos da qualidade da água e as frequências de realização durante o experimento.	48
Tabela 3 Relação dos índices observados e suas fórmulas usados para a avaliação do desempenho zootécnico dos alevinos de Tilápia do Nilo cultivados em sistema de bioflocos.	49
Tabela 4 Valores médios dos parâmetros observados as 8 e 17h durante a fase de maturação do inoculo de bioflocos.	53
Tabela 5 Valores médios dos parâmetros observados na fase de repicagem	55
Tabela 6 Valores médios dos parâmetros observados no grupo controle durante o período de maturação	56
Tabela 7 Quantidade média de ração diária fornecida a cada tratamento, por semana.....	57
Tabela 8 Quantidade em gramas de açúcar mascavo utilizado diariamente nas unidades experimentais em BFT com os ajustes semanais.....	60
Tabela 9 Variação média da temperatura em três horários distintos durante 64 dias em 05 tratamentos testando densidades em bioflocos.....	62
Tabela 10 Frequência de decantações por tratamento em bioflocos no período de 64 dias.....	63
Tabela 11 Dados de desempenho zootécnico referente à cinco tratamentos em BFT e tratamento controle (SRA), durante o período de 64 dias.	66
Tabela 12 Ganho de peso em cada tratamento	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	HIPÓTESE	17
3	OBJETIVOS	18
3.1	Objetivo Geral	18
3.2	Objetivos específicos	18
4	REVISÃO DE LITERATURA	19
4.1	Aquicultura no mundo e no Brasil	19
4.2	A atividade de piscicultura.....	21
4.3	Tilápia do Nilo – <i>Oreochromis niloticus</i>	22
4.3.1	Alimentação em sistemas de cultivo	25
4.4.1	O nitrogênio no ambiente aquático	28
4.5	Sistema de cultivo com bioflocos (BFT)	31
4.5.1	Parâmetros de controle em BFT	34
4.6	Composição dos Bioflocos	39
4.7	Desempenho Zootécnico	40
5	MATERIAL E MÉTODOS	41
5.1	Estruturação e <i>layout</i> do experimento.....	41
5.2	Obtenção do inóculo BFT e manejo do sistema de produção.....	43
5.3	Sistema de recirculação de água (SRA)	46
5.4	Recepção e aclimatação dos peixes	47
5.5	Alimentação dos animais e manutenção dos bioflocos	47
5.6	Parâmetros físico-químicos da qualidade da água	48

5.7	Biometrias	49
5.8	Avaliação do desempenho zootécnico	49
5.9	Levantamento qualitativo da microbiota planctônica presente no sistema BFT	50
5.10	Análise estatística	50
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
6.1	Crescimento da microbiota e retirada dos sólidos sedimentáveis	63
6.2	Levantamento qualitativo da comunidade planctônica dos tratamentos com bioflocos	64
6.3	Desempenho Zootécnico	66
7	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
	APÊNDICES	79
	Apêndice 1	79

LISTA DE ABREVIATURAS

BFT – BioFloc Technology;
SRA – Sistema de Recirculação de Água
pH – Potencial Hidrogeniônico
DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado
GP – Ganho de Peso
GPD – Ganho de Peso Diário
BE – Biomassa de Estocagem
TCA – Taxa de Conversão Alimentar
IEP – Índice de Eficiência Produtiva
CV – Cavalo Vapor
MS – Matéria seca
TA – Taxa de assimilação
FC – Fator de correção

1 INTRODUÇÃO

A demanda por pescado vem aumentando em escala mundial nas últimas décadas, principalmente em função do crescimento populacional e da preocupação com o consumo de alimentos mais saudáveis (BRABO *et al.*, 2016). Este cenário justifica o investimento que tem sido feito na aquicultura, visto que a produção mundial e brasileira de pescado via pesca se encontra estagnada desde meados da década de 90 (FAO, 2016). A média de produção da pesca extrativista brasileira que era de 243,213 mil toneladas no período compreendido entre 2005 e 2014 decaiu para 225 mil toneladas em 2015, estimando-se que esta se manteve nesse patamar em 2016 (FAO, 2018).

No Brasil a produção de pescado proveniente da aquicultura em 2016 foi estimada em 600 mil toneladas (FAO, 2018), estando a Tilápia (*Oreochromis* sp.) no topo da lista dos organismos aquáticos mais produzidos, representando 43% da piscicultura continental brasileira (IBGE, 2015). Sobre este gênero, aproximadamente 80% dos espécimes cultivados no mundo são da espécie *O. niloticus* (MORO *et al.*, 2013), popularmente conhecida como Tilápia do Nilo. Trata-se de um peixe onívoro, planctófago, de origem africana e fácil adaptação, que foi introduzida no Brasil pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) com o objetivo de povoar os reservatórios públicos da região Nordeste. A Tilápia é de fácil reprodução, possui carne branca de excelente qualidade, estrutura óssea que permite a filetagem, tendo bom rendimento e ótimo valor de mercado (KUBITZA, 2011).

Na piscicultura o cultivo de peixes ocorre em quatro sistemas de cultivo: superintensivos, intensivos, semi-intensivos e extensivos (BORGHETTI e SILVA, 2008). Apesar da eficiência desses sistemas de cultivo, os dois últimos demandam grande quantidade de água por quilo de peixe produzido, se restringindo aos locais onde há boa disponibilidade hídrica, tanto no aspecto quantitativo quanto qualitativo. Nos sistemas intensivos ocorre a utilização de filtragem e recirculação de água, logo são sistemas que também demandam gasto de energia elétrica para o funcionamento de bombas, forçando água pelos filtros. Outro fator a ser considerado é o consumo de ração, que nos sistemas mais intensivos é a única fonte de alimentação dos animais em

cultivo, já que nos sistemas extensivos, realizados em grandes tanques e em baixas densidades, a dependência de alimentação exógena é menor, visto que esses tanques geralmente apresentam uma produção primária que favorece a alimentação dos animais em cultivo (KUBITZA, 2000).

Nesse contexto, a aquicultura tradicional é uma atividade de alto consumo de água (FAO, 2016), levando-se em consideração a situação hídrica do interior da maior parte da região nordeste onde é notório e de conhecimento geral a ocorrência de secas históricas, poder-se-ia afirmar que a atividade de aquicultura é impraticável nesse ambiente. Entretanto, através da aplicação de novas tecnologias de cultivo e manejo, torna-se possível o cultivo de organismos aquáticos em regiões de baixas pluviosidade e disponibilidade hídrica. Assim surge a tecnologia de cultivo de organismos aquáticos em bioflocos, a qual possibilita a aquicultura com mínimo uso de água e menor dependência de alimentação exógena (AVNIMELECH, 1999).

O sistema de cultivo baseado na tecnologia de bioflocos, do inglês *BioFlocs Technology* (BFT), é caracterizado como superintensivo sendo baseado na manutenção de uma microbiota heterotrófica formada por inúmeras espécies de microrganismos que se aglomeram na água, formando flocos que servem de alimento natural para organismos planctófagos (AVNIMELECH, 1999). O princípio básico desse sistema consiste no controle da relação carbono e nitrogênio (C:N) na água em concentrações pré-definidas, de modo a garantir a sobrevivência dos microrganismos heterotróficos proporcionando a manutenção do sistema de produção propriamente dito (LASSO e CASTELLANOS, 2015). Por outro lado, as populações de microrganismos heterotróficos assimilam grande parte da amônia presente na água, proveniente das fezes dos organismos aquáticos e dos restos de alimento (AVNIMELECH, 2006; SCHNEIDER *et al.*, 2006).

Assim, a economia de água associada às reduções com gastos relacionados à alimentação tornam o sistema de cultivo em BFT muito atraente para a aquicultura, além do mais este sistema permite que a aquicultura seja possível mesmo em locais com pouca disponibilidade de água, vindo a potencializar a produção de pescado. Para isso tem sido realizados estudos com diversas espécies de peixes como, por exemplo, a Piracanjuba (*Brycon orbignyanus*) (SGNAULIN *et al.*, 2018), *Pangasius (Pangasius hypophthalmus)*

(CRAB *et al.*, 2012), Carpa (*Cyprinos carpio*) (NAJDEGERAMI, 2016) e o Jundiá (*Rhamdia quelen*) (Poli *et al.*, 2015). Ademais a tecnologia de cultivo em BFT ao substituir os modelos de produção da aquicultura tradicional oferece melhoria ambiental, podendo impulsionar inclusive oportunidades em se testar dietas alternativas que contribuam na redução dos impactos ambientais devido ao menor aporte de nutrientes (AVNIMELECH 2009; EMERENCIANO 2012; MANDAL, 2018).

A tecnologia BFT aplicada a tilapicultura tem sido estudada por diversos pesquisadores tanto nas fases iniciais de cultivo (LIMA, 2015; BROL, 2017), quanto na fase de engorda (AZIM e LITTLE, 2008; KUBITZA, 2011; MANSOUR e ESTEBAN, 2017). A realização de trabalhos sobre a densidade de alevinos de Tilápia em BFT é justificável por estes suportarem altas taxas de estocagem e serem planctófagos (BALDISSEROTO, 2013). Em virtude disso essa investigação vem no sentido de se aprofundar no estudo das potencialidades do cultivo em bioflocos realizado na alevinagem da Tilápia no interior da Bahia, buscando a avaliação e a verificação da eficiência dessa tecnologia quando utilizada nas condições climáticas encontradas no interior da região nordeste.

2 HIPÓTESE

O sistema de bioflocos melhora o desempenho zootécnico da Tilápia (*Oreochromis niloticus*), em alta densidade, na fase inicial de cultivo.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a tecnologia de bioflocos por meio do desempenho zootécnico de alevinos de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em diferentes densidades, definindo a melhor e comparando ao cultivo em sistema de recirculação de água.

3.2 Objetivos específicos

- Estabelecer um sistema de bioflocos estável e um sistema de recirculação de água com filtragem mecânica e biológica;
- Determinar os índices de desempenho zootécnico com destaque para o ganho de peso (GP), ganho de peso diário (GPD), fator de conversão alimentar (FCA), taxa de sobrevivência (TS) e índice de eficiência produtiva (IEP) em diferentes densidades em bioflocos e no sistema convencional com recirculação de água;
- Determinar a melhor densidade de cultivo de alevinos de Tilápia em sistema de bioflocos e comparar com o sistema convencional com recirculação de água;
- Monitorar os parâmetros físico químicos da água em cada sistema de cultivo;
- Realizar o levantamento qualitativo da comunidade planctônica presente nos tratamentos com bioflocos;
- Elaborar uma cartilha técnica para propiciar que a tecnologia desenvolvida no trabalho possa ser replicada na aquicultura comercial e artesanal, mesmo em regiões com restrição hídrica.

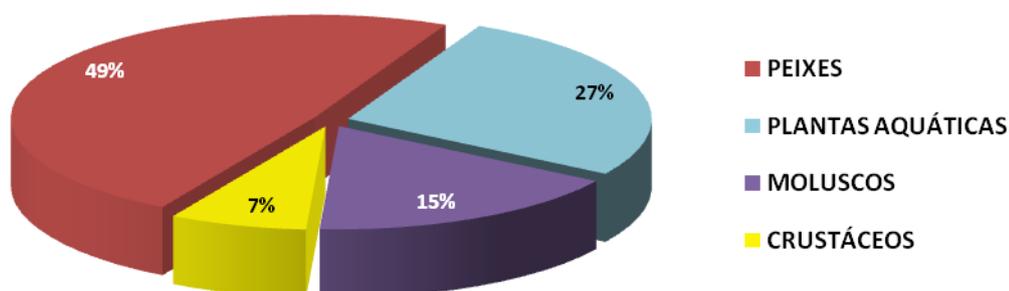
4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Aquicultura no mundo e no Brasil

A aquicultura é definida como o cultivo de animais cujo desenvolvimento ocorre, totalmente ou parcialmente, em ambiente aquático, com a finalidade de atender às necessidades humanas, alimentares ou comerciais. Dentre as atividades desenvolvidas pela aquicultura se destaca a produção de peixes (piscicultura), além da criação de moluscos (malacocultura), camarões (carcinicultura) e rãs (ranicultura) (DIAS e MARIANO, 2015).

Os primeiros organismos aquáticos cultivados foram as algas na Ásia, mas precisamente na China, sendo desempenhado até os dias atuais em diversas partes do mundo (FAO, 2016). Atualmente, a produção mundial aquícola é composta em grande parte pela piscicultura, seguida pela cultura de plantas aquáticas (Figura 1).

Figura 1 Produção mundial de organismos aquáticos em 2016.



(FAO, 2018).

A produção mundial da aquicultura em 2016 foi de 110,2 milhões de toneladas, sendo estimado o valor de primeira venda em U\$ 243 500 milhões, desse total produzido 54,1 milhões de toneladas corresponderam a piscicultura, 30,1 milhões as plantas aquáticas, 17,1 milhões a malacocultura, 7,9 milhões a

carcinicultura e o restante a outros cultivos como a quelonicultura e a ranicultura. Com relação à aquicultura continental mundial a produção total foi de 51,4 milhões de toneladas, com a piscicultura apresentando uma produção de 47,5 milhões de toneladas (92,5% do total) (FAO, 2018).

O pescado é classificado como uma fonte de proteína de alto valor biológico, pois apresenta em sua composição todos os aminoácidos essenciais (NELSON e COX, 2014). Assim, com a valorização de uma alimentação mais saudável por parte do consumidor somado ao crescimento populacional, o consumo de pescado vem aumentando em nível mundial, colocando a aquicultura como um dos setores da produção animal que mais se desenvolve mundialmente (FAO, 2018). Além do mais, com a estagnação da produção pesqueira mundial proveniente da pesca, causada principalmente pela sobrepesca e poluição dos ambientes aquáticos naturais, a aquicultura é indicada como a principal atividade no fornecimento de proteína animal para a humanidade nas próximas décadas (FAO, 2018).

Nos anos de 2016 e 2017 o consumo mundial estimado de pescado foi de 20,3 e 20,5 kg/habitante, respectivamente, com projeção de aumento em todos os continentes, sendo que na Ásia, Oceania, América Latina e Caribe apresentarão crescimento mais acelerado (FAO, 2018), colocando o Brasil, em particular, como um país que apresentará um dos maiores crescimentos; há uma projeção de aumento de 104% na aquicultura brasileira até o ano de 2025 (FAO, 2016). No geral se prevê crescimento da produção, do comércio e do consumo de pescado em nível mundial, porém as taxas decairão de forma paulatina, ainda assim estima-se que a produção atenda a demanda de forma mais efetiva do que ocorre na atualidade (FAO, 2018).

O Brasil possui 5.500.000 hectares de reservatórios de água doce, o que corresponde a aproximadamente 12% dos reservatórios do planeta, que aliado ao clima favorável, à existência de espécies de organismos aquáticos adequados a esses ambientes e ao crescente mercado interno, apontam para um grande potencial de crescimento da aquicultura (IBGE, 2015). O aumento médio da aquicultura no Brasil durante a primeira década do século XXI foi de 56% (SEBRAE, 2015) e culminou em uma produção de 600 mil toneladas no ano de 2016 (FAO 2018).

4.2 A atividade de piscicultura

Os primeiros cultivos de peixe surgiram depois que os povos nômades começaram a se estabelecer em determinados locais, criando a necessidade de garantir suprimento de alimento. Os egípcios já cultivavam a Tilápia há cerca de 4.000 anos (SILVA *et al.*, 2005).

Na atualidade a piscicultura, assim como toda a aquicultura, é embasada em uma infinidade de técnicas utilizadas em diversos tipos de cultivos, dedicados a uma grande quantidade de espécies de organismos, ao ponto dos cultivos serem automatizados, utilizando sistemas analógicos e digitais que controlam diversas variáveis como temperatura, pH, vazão e alimentação (SANTOS *et al.*, 2013).

Nas Américas, mas especificamente no Brasil, até o final da década de 80, a piscicultura era realizada basicamente em regime extensivo, em pequenas propriedades rurais ou em grandes açudes, com um nível mínimo de capacitação dos produtores (OSTRENSKY *et al.*, 2008). Já na década de 90 houve o início da modernização da piscicultura, com avanços tecnológicos e adoção de cultivos de peixes em viveiros e tanques-rede, em altas densidades de estocagem, alimentados com rações balanceadas, quase sempre industrializadas (IGARASHI, 2016). Com isso, a piscicultura brasileira vem galgando mais e mais espaço nos últimos anos, representando 80% da produção nacional de pescado (IBGE, 2015). De acordo com Dias e Mariano (2015) todo o crescimento da aquicultura brasileira é um fenômeno que acontece junto com o crescimento das pesquisas na área, além da valorização por parte das diferentes instituições de pesquisa, ensino e extensão.

Historicamente, já na década de 30, a piscicultura se fazia presente no Nordeste, em decorrência do povoamento dos açudes públicos, construídos pelo Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS) com o objetivo de armazenar água, mas que também se prestavam bem à atividade de pesca (BORGHETTI *et al.*, 2003). Além dos grandes açudes públicos, a região Nordeste conta com mais de 70.000 pequenos açudes com áreas superiores a 1.000 m² (ALBINATI, 2006).

Nessa região, alguns Estados apresentam cadeias de produção bem estruturadas, autossuficientes em insumos básicos e beneficiamento, enquanto outros apresentam níveis de deficiência no setor (BRABO *et al.*, 2016). Inserida nesse contexto, a Bahia, apesar de possuir diversas regiões com condições naturais adequadas para a aquicultura, além de contar com a região do Lago de Itaparica, que tem sido grande produtora de Tilápia em tanques rede, se encontra ainda, de maneira geral, com uma cadeia produtiva não consolidada (BAHIA PESCA, 2016). Ainda assim, a piscicultura continental foi a principal atividade aquícola da Bahia em 2015, com uma produção de 11,5 mil toneladas, que representou 2,4% da produção brasileira, gerando uma receita de R\$ 66,6 milhões (IBGE, 2015) embasada no cultivo da Tilápia, em sistemas de tanques-rede e de peixes redondos em viveiros escavados (BRABO *et al.*, 2016). A Tilápia é a principal espécie de peixe cultivado no Brasil, seguida pelo grupo dos peixes redondos e peixes de couro. Os peixes redondos são representados pelo tambaqui (*Colossoma macropomum*), pacu (*Piaractus mesopotamicus*) e seus híbridos. Já os peixes de couro são em grande parte representados pelos surubins, principalmente pelo pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) (IBGE, 2015).

4.3 Tilápia do Nilo – *Oreochromis niloticus*

A Tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), espécie alvo dessa investigação (Figura 2) é um peixe onívoro, planctófago, de origem africana, que pode atingir 60 cm de comprimento e 4,3 Kg (ECCLES, 1992). Atualmente, existem algumas linhagens de Tilápia do Nilo melhoradas geneticamente, produzidas em território nacional, como a linhagem GST (*Genomar Supreme Tilápia*), importada da Noruega em 2002 e a linhagem GIFT (*Genetically Improved Farmed Tilápia*), importada da Malásia em 2005. Outra variedade, uma das mais procuradas para cultivo é a chitralada, conhecida principalmente como Tailandesa, linhagem desenvolvida no Japão e melhorada no Palácio Real de Chitral, na Tailândia (BLANCK e TAKAKO, 2015).

Figura 2 Exemplar de Tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758).



Fonte: Fishbase (Disponível em <https://www.fishbase.de/summary/oreochromis-niloticus.html>)

A Tilápia é originária dos rios costeiros de Israel, Bacia do Nilo, inclusive nos lagos Albert, Edward, Tana, Jebel Marra, Kivu, Tanganica, Rio Awash, vários lagos etíopes, Rio Suguta e Lago Baringo. Já na África Ocidental, a distribuição natural abrange as bacias do Senegal, Gâmbia, Volta, Níger, Benue e Chade, com exemplares inseridos de várias bacias costeiras (TREWAVAS,1983).

A Tilápia é classificada taxonômicamente pertencente ao Filo - *Chordata*, classe - *Actinopterygii*, ordem - *Perciformes*, família - *Cichlidae*, gênero – *Oreochromis* e espécie – *Oreochromis niloticus* (TREWAVAS,1983). Sendo reconhecidas posteriormente as seguintes subespécies: *Oreochromis niloticus baringoensis*, *Oreochromis niloticus cancellatus*, *Oreochromis niloticus eduardianus*, *Oreochromis niloticus filoa*, *Oreochromis niloticus niloticus*, *Oreochromis niloticus sugutae*, *Oreochromis niloticus tana* e *Oreochromis niloticus vulcani* (TEUGELS *et al.*, 2003).

Com relação à morfologia, apresenta corpo comprimido lateralmente com presença de escamas cicloides, ausência de protuberância na superfície superior da cabeça comum em machos da família *Cichlidae*; primeiro arco branquial com 27 a 33 rastros; linha lateral interrompida e dividida em dois segmentos; nadadeira dorsal com 16 a 17 espinhos e 11 a 15 raios macios, nadadeira anal com 3 espinhos e 10 a 11 raios, nadadeira caudal truncada, sem bifurcação; cor acinzentada, porém em época de desova, apresenta nadadeiras peitorais, dorsais e caudais avermelhadas; com listras esverdeadas escuras e verticais por todo o corpo até a cauda (TAO *et al.*, 2013).

As Tilápias são peixes territorialistas embora não sejam peixes agressivos (MOYLE e CECH, 1988), no caso que alguns cultivos como não há espaço para que cada exemplar estabeleça seu próprio território, ocorrem disputas constantes, surgindo exemplares dominantes em detrimento da homogeneidade do lote de cultivo (MEDEIROS *et al.*, 2005). A técnica utilizada para contornar esse problema tem sido aumentar a densidade, respeitando a capacidade do sistema, pois em altas densidades a característica agressiva de peixes territoriais é suprimida, reduzindo significativamente as disputas por território e alimento (GOMES e SCHLINDWEIN, 2000). Para Medeiros *et al.* (2005) a determinação da densidade de estocagem ideal indica a maior quantidade de peixes que pode ser produzida de maneira eficiente em um dado volume, embora Lima *et al.* (2015) não tenham encontrado diferença entre o desempenho de Tilápias nas densidades de 15, 30 ou 45 peixes/m³.

Com relação à alimentação, a Tilápia consome alimentos tanto de origem vegetal quanto animal, embora seja também planctófaga, por apresentar modificações nos arcos branquiais, chamados rastros branquiais, filamentos alongados e numerosos que atuam como uma rede para capturar o plâncton na coluna d'água. Logo as partículas presentes na água, ao serem admitidas na cavidade bucal pelos movimentos operculares da respiração são capturadas pelos rastros branquiais que as direcionam para o esôfago. De forma geral, espécies planctófagas são capazes de filtrar plâncton na faixa de 5 a 3000 µm. À medida que o peixe cresce o espaço entre os rastros branquiais aumenta, logo, peixes menores capturam maior quantidade de plâncton, indicando ser esta a fase que melhor apresenta resposta a esse tipo de alimento. A filtração ocorre no sentido longitudinal aos filamentos para evitar o rápido congestionamento, sendo auxiliada pela presença de uma camada de muco que envolve os rastros branquiais (BALDISSEROTO, 2013).

4.3.1 Alimentação em sistemas de cultivo

A alimentação de animais em cultivo é um fator de grande impacto, principalmente em sistemas intensivos de produção que interfere fortemente na lucratividade da atividade (ADEBAYO *et al.*, 2004). Em cultivos de Tilápia a alimentação pode representar até 70% dos custos de produção (KUBITZA, 2011).

Dois fatores que influenciam diretamente na taxa de alimentação dos animais e que devem ser observados são a temperatura da água e a fase de crescimento do animal, pois o metabolismo depende diretamente da idade do animal e da temperatura corporal (BALDISSEROTO, 2013). Como os peixes são animais pecilotérmicos a ingestão de alimento diminui quando a temperatura está abaixo de sua faixa de temperatura ótima. A tabela 1 consta de valores determinados por Kubitza (2000), sendo sugerida por diferentes pesquisadores.

Tabela 1 Sugestão de taxa de alimentação para Tilápias de acordo com o peso em temperatura ótima.

Peso (g)	Taxa de alimento (% do peso corporal por dia)
1 – 5	7 – 10
5 – 20	4 – 6
20 – 100	3 – 4
100 – 200	2 – 3
200 – 400	1,5

Adaptado de Kubitza (2000)

A cadeia produtiva da Tilápia, assim como a de outros peixes produzidos comercialmente se divide em diversos vetores, em um fluxo que compreende a fabricação de ração, a produção de alevinos, o transporte de alevinos, a engorda, o beneficiamento e o comércio. Essa atividade é complexa e engloba

um grande número de profissionais e empresas gerando emprego e renda em um mercado cada vez mais lucrativo e paradoxalmente competitivo (IGARASHI, 2016).

4.4 A qualidade da água na piscicultura

O desenvolvimento da piscicultura tanto aplicada como em suas áreas de pesquisas indica que cada peixe apresenta exigências particulares com relação ao meio de produção. Essas exigências estão ligadas ao ambiente natural do qual a espécie foi retirada, como uma memória instintiva de seu habitat (BALDISSEROTO, 2013). Sendo assim, a observação de características inerentes ao meio, ou seja, os parâmetros da água em relação à espécie produzida são de vital importância no sucesso da atividade (ARANA, 2004). Como principais fatores a serem observados na piscicultura tem-se a temperatura (T), potencial hidrogeniônico (pH), oxigênio dissolvido (OD), amônia em sua forma tóxica (NH_3), nitrito (NO_2) e alcalinidade (LIMA, 2013).

A observação da temperatura da água ideal para o cultivo é um procedimento de grande importância na atividade de piscicultura, temperaturas superiores ou inferiores a faixa de conforto de uma determinada espécie inibem o apetite causando prejuízo ao desenvolvimento do animal, comprometendo seus índices de desempenho zootécnico diminuindo a produtividade da atividade. Além de interferir no metabolismo dos peixes, a temperatura influi diretamente na produção primária aquática, agindo sobre o metabolismo dos microrganismos presentes na água (BALDISSEROTO, 2013; LIMA, 2013).

As Tilápias apresentam conforto térmico entre 26 °C e 32 °C. Temperaturas acima de 32 °C e abaixo de 26 °C afetam negativamente seu crescimento, chegando a suprimir o sistema imunológico abaixo de 18 °C (SANTOS *et al.*, 2013). Temperaturas na faixa de 8 °C a 14 °C geralmente são letais para as Tilápias, embora deva-se considerar a espécie, linhagem e condição corporal dos peixes (OSTRENSKI e BOEGER, 1998).

Quanto ao oxigênio dissolvido, esse é quantificado em mg/L ou taxa de saturação, variando em função da temperatura, salinidade e pressão

atmosférica, sendo a concentração de oxigênio inversamente proporcional a temperatura e a salinidade, e diretamente proporcional a pressão atmosférica (ARANA, 2004). Uma saturação de 100% é o máximo possível a ser dissolvido em na água em determinada temperatura, salinidade e pressão. Como exemplo tem-se a saturação, em 1 atm a 0 °C, equivalente a 14,62 mg/L e a 21 °C caindo para 8,91 mg/L, enquanto os demais parâmetros se mantiveram nos mesmos níveis nas duas situações (TUNDISI e TUNDISI, 2008). Para espécies de águas frias a concentração de oxigênio deve ser superior a 5 mg/L, enquanto para as espécies de águas tropicais o ideal é que sua concentração seja superior a 3 mg/L (LIMA, 2013).

A entrada de oxigênio na água ocorre principalmente por difusão na superfície de contato entre a atmosfera e a lâmina d'água, e pelo processo de fotossíntese realizado pelas algas fitoplanctônicas (BALDISSEROTO, 2013). O oxigênio participa de uma série de interações como, nitrificação, oxidação química abiótica e respiração dos animais. O material habitualmente mais oxidado na água é a matéria orgânica e quanto maior a carga orgânica de um sistema, maior será a demanda de oxigênio (ESTEVES, 1998).

A Tilápia, por ser um peixe oriundo de lagos e rios tropicais não apresenta grandes exigências com relação aos índices de OD na água de cultivo, sobrevivendo em níveis baixos da ordem de 1 mg/L. A concentração de OD considerada ideal para *O. niloticus* e *O. mossambicus* fica em torno de 4 mg/L, tendo como concentração letal 0,1 mg/L (POLI *et al.*, 2004).

Outro parâmetro de grande importância no controle da qualidade da água para a piscicultura é o potencial hidrogeniônico (pH), que representa a medida da concentração de íons H^+ na água, e expresso pela função $pH = -\log [H^+]$. Sua medida é dada em uma escala de 0 a 14 de modo que pH igual a 7,0 indica equivalência entre H^+ e OH^- , ou seja, pH neutro. O pH indicado para a grande maioria das espécies cultivadas, incluindo a Tilápia, varia entre 6,5 a 8,5 (ARANA, 2004; LIMA, 2013).

O pH não é uma grandeza fixa, pois o ambiente aquático é dinâmico e varia em um período de 24 horas de maneira diretamente proporcional ao O_2 dissolvido e inversamente ao CO_2 . Esse fato exige e propicia o monitoramento de outras fontes de variação por meio do acompanhamento da variação diária do pH (OSTRENSKI e BOEGER, 1998).

4.4.1 O nitrogênio no ambiente aquático

As interações entre a biota e os níveis de compostos nitrogenados no meio são de vital importância para a aquicultura (BALDISSEROTO, 2013). Devido a isso, esse parâmetro recebe aqui uma especial exposição, tanto no que tange ao entendimento de sua dinâmica no meio aquático quanto seu impacto sobre os organismos presentes, ponderando sobre os principais processos redutores de sua concentração na água do cultivo incluindo a própria tecnologia BFT.

O nitrogênio pode ser encontrado no ambiente aquático sob diversas formas: amônio ionizado (NH_4^+), amônio não ionizado ou amônia (NH_3), óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), nitrito (NO_2^-), nitrato (NO_3^-), nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico dissolvido (peptídeos, purinas, aminas, aminoácidos) ou ainda como nitrogênio orgânico particulado (HERNÁNDEZ e VARGAS, 2003).

Na piscicultura, a concentração de nitrogênio na água tende a subir devido à oferta de ração, a qual geralmente apresenta níveis consideráveis de proteínas. Assim, a presença de compostos nitrogenados tem sido um ponto crítico na produção, especialmente quando se utiliza altas densidades no cultivo (GELINEAU *et al.*, 1998; SAGRATZKI *et al.*, 2004). O nitrogênio na forma de nitrito (NO_2) e amônia (NH_3) devem ser monitorados e controlados por serem tóxicos aos peixes, limitando o seu crescimento e mesmo a sua sobrevivência, portanto, removê-lo da água de cultivo é uma exigência para que se obtenha alta produtividade, com grande densidade por tanque e baixo risco de mortalidade (HARGREAVES, 1998; EBELING *et al.*, 2006; AVNIMELECH, 2009).

Quanto aos compostos nitrogenados, a presença de amônia na forma tóxica depende principalmente do pH e, em menor escala, da temperatura. A porcentagem de NH_3 na água aumenta com pH acima de 7,0 porque em pH básico a concentração de H^+ diminui, e a reação $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$ ocorre, aumentando a concentração da forma mais tóxica da amônia na água. O aumento de NH_3 reduz a excreção de amônia pelo peixe, com consequente acúmulo do metabólito nos tecidos, aumentando o risco de mortalidade.

Espécies de ambientes mais alcalinos têm mais tolerância a maiores concentrações de amônia, todavia o processo de excreção poderá demandar energia e picos de amônia poderão ser letais (BALDISSEROTO, 2013). A Tilápia nilótica é considerada uma espécie bastante resistente à amônia apresentando (CL₅₀ em 48 h) quando expostas a uma concentração de 7,4 mg/L de amônia total (KARASU BENLI e KÖKSAL 2005; EL-SHERIF e EL-FEKY, 2008; ZEITOUN et al., 2016).

Tão importante quanto o monitoramento da amônia é o acompanhamento e controle da concentração de nitrito, produto da oxidação da amônia e também potencialmente tóxico aos peixes. A ação tóxica do nitrito sobre os peixes se dá pela admissão desse composto pelas brânquias, após perpassar a membrana branquial, adentrando as hemácias e oxidando o ferro, formando a meta-hemoglobina, a qual não se liga ao oxigênio. A presença de sais na água diminui a toxidez do nitrito para os peixes de água doce, pois há competição entre esse composto e o Cl⁻ por um mesmo transportador (BALDISSEROTO, 2013).

A adaptabilidade à água com a presença de sais tem favorecido o cultivo de Tilápias e de algumas espécies de água doce em águas com alguma salinidade, pois diminui o risco de contaminação por parasitas, minimizando as contaminações por patógenos e diminuindo a toxicidade por nitrito, aumentando a sobrevivência e o crescimento dos peixes (LUZ e DOS SANTOS, 2008).

Yanbo *et al.* (2006) relataram uma CL₅₀ do N-NO₂⁻ (96 h) em 35,58 e 57,09 mg/L em um cultivo contendo 35,0 e 70,0 mg/L de cloretos, respectivamente, para alevinos de *O. niloticus* com peso médio de 2 g. Já Baldisseroto (2013) relatou uma CL₅₀ do N-NO₂⁻ (96 h) de 44,7 mg/L com 139,0 mg de CaCO₃/L. OISHEE (2018) relatou CL₅₀ em 96 horas da Tilápia nilótica foi em uma salinidade de 15,901 ppt.

Com isso, percebe-se o quanto a qualidade de água é um fator primordial na aquicultura, em que o controle é tanto maior quanto maior é a produtividade desejada. Em modelos de produção superintensivos o controle dos parâmetros físico-químicos da água ainda é maior, inclusive no que se refere à redução dos compostos nitrogenados (LIMA *et al.*, 2015).

Os processos de redução dos compostos nitrogenados geralmente são realizados por microrganismos que são capazes de degradar ou assimilar as diferentes formas de nitrogênio (AVNIMELECH e KOCHBA, 2009). Três grupos são amplamente conhecidos, as algas assimiladoras, as bactérias quimioautotróficas e os microrganismos heterótrofos ou heterotróficos (BALDISSEROTO, 2013; MONROY *et al.*, 2013; RAY e LOTZ, 2014)

A oxidação biológica da amônia a nitrato é denominada nitrificação. Neste processo, realizado por bactérias quimioautotróficas, o íon amônio (NH_4^+) atua como doador de hidrogênio quando oxidado. Da transformação do íon amônio para nitrato (nitrificação) participam dois gêneros de bactérias:

Nitrossomonas – que oxidam amônio a nitrito:

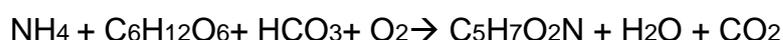


Nitrobacter – que oxidam nitrito a nitrato:



(BALDISSEROTO, 2013).

As bactérias dos gêneros *Nitrossomona* e *Nitrobacter* são formadoras de biofilme e necessitam de área para fixação. Na piscicultura, diversos substratos podem ser utilizados para esta fixação, variando desde superfícies naturais e inertes como pedras, até produtos industrializados confeccionados para esse fim como os *bioballs* (KUBITZA, 2011). Recentemente, mas ainda em estudo, descobriu-se que um grupo de bactérias denominadas anammox, convertem amônia e nitrito em gás dinitrogênio, sem o uso de oxigênio, abalando o conhecimento sobre sistemas de filtragem biológica (KESSEL *et al.*, 2015). O que se conhece com certeza é que, além da atividade das bactérias nitrificantes na degradação da amônia tóxica, tem-se a ação de bactérias heterotróficas que assimilam os compostos nitrogenados sintetizando proteínas microbianas. Os heterotróficos apresentam a seguinte reação metabólica:



Esse tipo de microbiota caracteriza o sistema de cultivo em bioflocos que demanda carboidrato para a degradação de compostos nitrogenados

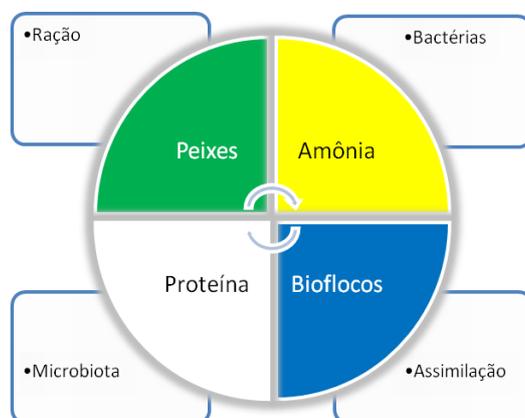
(AVNIMELECH, 1999; WASIELESKY *et al.*, 2006; HARGREAVES, 2006; DE SCHRYVER *et al.*, 2008; RAY *et al.*, 2009; EMERENCIANO 2012; POLI *et al.*, 2015).

4.5 Sistema de cultivo com bioflocos (BFT)

O sistema de cultivo baseado na tecnologia de bioflocos (BFT) surgiu no início dos anos 90 (LASSO e CASTELLANOS, 2015). Esse sistema é considerado uma boa alternativa para aumentar a produtividade da aquicultura e diminuir seu impacto ambiental, por dispensar a renovação de água e apresentar grande produção de biomassa bacteriana, que pode ser utilizada como alimento pelos animais em cultivo (AVNIMELECH, 1999).

Bioflocos são agregados de bactérias, plâncton, protozoários, metazoários, microrganismos heterotróficos, fezes e aglomerados de partículas orgânicas (DE SCHRYVER *et al.*, 2008). A ação heterotrófica dessa microbiota atua assimilando os compostos nitrogenados de forma mais rápida e eficaz que a nitrificação, onde a taxa de crescimento e o rendimento de biomassa por unidade de substrato é 10 vezes superior ao de bactérias nitrificantes (HARGREAVES, 2013). A assimilação dos compostos nitrogenados além de produzir proteína microbiana que alicerça uma grande produção de microrganismos, oferece aos animais em cultivo uma dieta rica em nutrientes (AVNIMELECH, 2006; DE SCHRYVER *et al.*, 2008; EKASARI *et al.*, 2010). Na figura 3 podemos observar de forma esquematizada a dinâmica do sistema

Figura 3 Fluxograma dos principais processos presentes em bioflocos



Fonte: Adaptado de Avnimelech (1999)

Para Emerenciano *et al.* (2012) a produção de peixes em bioflocos é uma quebra de paradigma, pois prevê alta produção sem troca de água, sem filtros e em uma água de coloração marrom café. Além disso, o nível elevado de biossegurança reduz substancialmente a possibilidade da entrada de agentes patogênicos que poderiam vir nas trocas parciais de água. Aliado a isso, tem-se a diminuição do descarte de água do cultivo no ambiente, uma vez que a mesma água pode ser utilizada em diversos ciclos de cultivo. Para isso os parâmetros referentes à manutenção da qualidade de água para a piscicultura devem ser rigorosamente observados.

Para a formação dos bioflocos no sistema de cultivo é necessário a adição de carbono em quantidade diretamente proporcional a quantidade de nitrogênio, presente na ração ministrada, respeitando-se a relação carbono-nitrogênio (C:N) pré-definida (AVNIMELECH, 1999; WASIELESKY *et al.*, 2006; EMERENCIANO *et al.*, 2012). Para isso, deve haver aeração e circulação interna da água de cultivo de modo a evitar a decantação dos flocos e proporcionar fornecimento de OD, tanto para os peixes em cultivo quanto para os bioflocos, pois essa microbiota heterotrófica é responsável por 60% do consumo de OD do sistema (AVNIMELECH, 2009).

Os flocos são mantidos unidos por forças físico-químicas de atração e uma matriz de polímeros formados de polissacarídeos, proteínas e complexos húmicos (AVNIMELECH, 2009). Sua composição microbiana e propriedades físicas podem variar dependendo dos tipos de insumos utilizados, cultura alvo, tipo de aeração e protocolos de gestão (DE SCHRYVER *et al.*, 2008; RAY *et al.*, 2009). Em alguns poucos sistemas de bioflocos foram identificadas algas prejudiciais, do tipo *Pfiesteria piscicida*, embora não tenham sido detectados efeitos negativos sobre camarões, peixes ou humanos. Um grupo mais comum de algas potencialmente prejudiciais são as cianobactérias, todavia, a redução da concentração de bioflocos aumenta a penetração de luz reduzindo a abundância de cianobactérias (RAY *et al.*, 2009). Algas com potencial tóxico geralmente apresentam crescimento populacional rápido e ocorrem no sistema durante a maturação, em um segundo momento bactérias não prejudiciais surgem naturalmente no sistema, enquanto que aquelas que já se encontravam estabelecidas, incluindo as potencialmente tóxicas, entram em declínio (MONROY *et al.*, 2013).

Em um estudo realizado por Monroy *et al.* (2013) a comunidade encontrada nos bioflocos era de algas clorofitas, cianobactérias, diatomáceas, ciliados dos gêneros *Paramecium*, *Colpidium* e *Halteria*, rotíferos do gênero *Philodina*, nematodos e microrganismos como *Vibrio* sp. e *Rhodotorula* sp., demonstrando que o meio heterotrófico oferece uma rica microbiota que possibilita o cultivo de organismos aquáticos de uma forma inovadora e diferente das modalidades de produção praticadas até o momento (AVNIMELECH, 2006; DE SCHRYVER *et al.*, 2008; EKASARI *et al.*, 2010).

A caracterização dos microrganismos em BFT pode ser feita por microscopia, epifluorescência e cromatografia gasosa (RAY *et al.*, 2009), sendo a primeira, a técnica mais utilizada e que permite a identificação dos microrganismos de maior relevância em bioflocos (NEWALL *et al.*, 2006).

O tamanho do biofloco é significativamente importante para a nutrição animal, por facilitar ou dificultar sua absorção pelos peixes. Na maioria dos sistemas pode-se observar flocos que variam de frações de milímetros e outros com até alguns milímetros. As dimensões do biofloco variam de acordo com o sistema de cultivo, em que sistemas com maior atividade de bombeamento de água são propensos a apresentar partículas menores, devido à ação de corte dos impulsores da bomba (RAY *et al.*, 2009). O tamanho dos bioflocos determina qual a técnica de remoção mais adequada, no caso da necessidade de serem reduzidos no sistema. Tanques de decantação podem ser usados para remover partículas, caso se apresentem relativamente grandes, bem como fracionadores de espuma (*skimmers*) caso a remoção seja de partículas menores (RAY *et al.*, 2009).

No caso das Tilápias, estas são capazes de filtrar plâncton com diâmetro variando entre 5 a 3000 μm . A captura é proporcionalmente maior para exemplares de menor tamanho devido à proximidade entre os rastros branquiais, permitindo que peixes menores capturem maior proporção de micropartículas (BALDISSEROTO, 2013).

Embora o sistema de bioflocos venha se mostrando vantajoso para o cultivo de Tilápias em altas concentrações de partículas em suspensão, ou seja, dos próprios bioflocos no meio, o excesso de sólidos suspensos pode ser prejudicial por aumentar a demanda por oxigênio. O nível ideal de sólidos suspensos totais no sistema deve ser de 20mL/L, em que o controle é realizado

com a utilização de tanques auxiliares para sedimentação (AVNIMELECH, 2011).

Um dos fatores mais importantes para qualquer sistema de cultivo de organismos aquáticos de respiração branquial é a aeração, caracterizada pela difusão do oxigênio no corpo d'água que ocorre naturalmente (BALDISSEROTO, 2013). Todavia, a difusão pode ser incrementada pelo aumento da área de contato da superfície água/ar e ser favorecida tanto pela injeção de ar na água por meio de compressores ligados a mangueiras e difusores, como pelo arremesso da água no ambiente aéreo por meio de aeradores de pá ou do tipo chafariz, entre outros. As aplicações de cada tipo de aerador dependem das condições requeridas nos tanques de cultivo e do sistema de funcionamento específico de cada equipamento (BOYD e WATTEN, 1989).

No sistema BFT a aeração deve proporcionar uma movimentação completa da massa d'água, principalmente da camada mais profunda (AVNIMELECH, 1999; BURFORD *et al.*, 2004; EKASARI *et al.*, 2014), além de prover oxigênio para as demandas químicas e biológicas, em quantidade suficiente para suprir a demanda respiratória dos peixes, plâncton e comunidade microbiana (BOYD e CLAY, 2002), comunidade nitrificante (TIMMONS e EBELING, 2010) e heterotrófica (AVNIMELECH, 1999). No entanto, Emerenciano *et al.* (2012) relataram que uma movimentação excessiva da água de cultivo pode desfazer os flocos e prejudicar o sistema, levando-o ao colapso, de acordo com esse autor a aeração adequada para bioflocos basicamente deve ser capaz de oferecer uma velocidade de deslocamento da água de superfície compreendida entre 15 e 30 cm/s, a partir do centro da erupção superficial provocada na água pelo empuxo do ar injetado.

4.5.1 Parâmetros de controle em BFT

Todos os parâmetros físico-químicos da água na piscicultura também devem ser observados em sistemas bioflocos, porém alguns desses

parâmetros se tornam primordiais, e se não observados podem levar o sistema ao colapso, comprometendo toda a produção. Além da aeração e da relação C:N, um importante parâmetro a ser monitorado é a alcalinidade, uma vez que com a adição de carbono orgânico as bactérias heterotróficas apresentam crescimento exponencial produzindo alta biomassa, com elevado consumo de O_2 e produção de CO_2 , favorecendo a acidificação da água, com diminuição do pH e da alcalinidade. A alcalinidade quando mantida em níveis adequados oferece íons ao sistema proporcionando um efeito tampão (CRAIG *et al.*, 2012; MARTINS *et al.*, 2017).

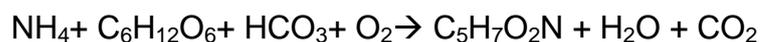
Martins *et al.*, (2017) ao realizarem um estudo com Tilápias em BFT durante 60 dias relataram melhor desempenho dos animais ao utilizarem bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) quando comparado ao carbonato de cálcio ($CaCO_3$) e hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$) para a correção do pH, por apresentar um efeito tampão no pH da água do cultivo. Assim, a manutenção de uma alcalinidade com concentrações ao redor de 80 e 150 mg/L é essencial para o cultivo, uma vez que nessa faixa de concentração de $CaCO_3$ diminui a oscilação do pH, com oferta de carbono inorgânico, também necessário à reação metabólica da microbiota heterotrófica (EBELING *et al.*, 2006).

O controle dos sólidos suspensos totais também deve ser observado, em que concentrações maiores que 20m L/L de sólidos demanda maior quantidade de oxigênio, tornando o sistema ainda mais dependente de uma alta disponibilidade de OD (AVNIMELECH, 2009). O sistema que contém altas concentrações de sólidos em suspensão ocorre baixa penetração de luz, favorecendo o surgimento de cianobactérias no sistema (RAY *et al.*, 2009). Por outro lado, uma baixa concentração de sólidos suspensos favorece a penetração de luz contribuindo para a proliferação de algas verdes, que em grande quantidade afetam a disponibilidade dos nutrientes aos bioflocos, levando essa microbiota ao declínio. Para evitar grandes proliferações de algas verdes tem-se utilizado filtros de luz como sombrites, telas ou mesmo, tanques parcialmente cobertos (EMERENCIANO *et al.*, 2012).

Já a manutenção da relação C:N desejável, a quantidade de carboidrato a ser adicionada ao sistema BFT respeita a quantidade de nitrogênio e de carbono presentes na ração. Logo a quantidade de carbono adicionado será diretamente proporcional à quantidade de ração oferecida, mantendo a

sobrevivência de uma microbiota predominantemente heterotrófica (AVNIMELECH, 1999; SCHNEIDER *et al.*, 2006; CRAB *et al.*, 2007; AVNIMELECH, 2009; CRAIG *et al.*, 2012; EMERENCIANO *et al.*, 2012; MONROY *et al.*, 2013; EKASARI *et al.*, 2014; POLI *et al.*, 2015).

Geralmente o percentual de proteína presente na composição da ração para piscicultura varia entre 20 e 45%, onde 16% é nitrogênio (CRAIG e HELFRICH, 2002). Do total de nitrogênio, em torno de 70% é transferido ao meio por excreção dos organismos cultivados e também por sobras alimentares (HARGREAVES, 1998; PIEDRAHITA, 2003; DE SCHRYVER, 2008; AVNIMELECH, 2009; CRAIG *et al.*, 2012). Desse modo, a definição da relação C:N tem como base a própria equação metabólica dos organismos heterotróficos não balanceada:



O balanço estequiométrico da reação utilizando as massas molares de cada elemento indica que para assimilar 1 g de nitrogênio, o consumo de carbono será igual a 15,2 g, carbonatos de 3,6 g e oxigênio de 4,7 g. Assim, para cada grama de nitrogênio produzida será necessário adicionar ao sistema aproximadamente 20 g de carbono, alcançando-se a relação C:N de 20:1 (AVNIMELECH, 1999). Contudo, observa-se que essa relação não deve desconsiderar: (i) a quantidade de proteína e carboidrato presente na ração, (ii) a quantidade de carboidrato presente na substância utilizada como fonte carbono, e (iii) a presença de outras formas de degradação do nitrogênio atuando no sistema. Mesmo assim, ainda há divergências sobre a relação ideal C:N, onde os principais autores reportam taxas de 10:1 (AZIM e LITTLE, 2008), 12-13:1 (SCHNEIDER *et al.*, 2006), 15:1 (MONROY *et al.*, 2013) e, mais comumente, 20:1 (AVNIMELECH, 2009; CRAIG *et al.*, 2012; EMERENCIANO *et al.*, 2012; EKASARI *et al.*, 2014; POLI *et al.*, 2015) No caso de Fuentes *et al.* (2016), estes obtiveram melhor desempenho em Tilápias do Nilo ao manterem a relação C:N em 10:1.

Diferentes fontes de carbono orgânico têm sido utilizadas em bioflocos, mas na escolha da fonte de carbono deve-se levar em consideração a disponibilidade e a facilidade de aquisição, além do real teor de carboidrato

presente na fonte (EMERENCIANO *et al.*, 2012). Dentre as fontes utilizadas podem ser citadas: glicose (EKASARI *et al.*, 2010), amido (CRAB *et al.*, 2007), farelo de trigo, açúcar, melaço ou bagaço de cana de açúcar (HARGREAVES, 2013).

Dentre os açúcares obtidos diretamente do caldo concentrado da cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) tem-se o açúcar mascavo. Este carboidrato não recebe tratamentos químicos em seu beneficiamento, preservando os componentes essenciais da cana de açúcar, como vitaminas e sais minerais, sendo encontrado comercialmente em teores que variam entre 90 a 99,8% de sacarose (MACHADO, 2012). A sacarose é um carboidrato cuja molécula é formada por uma molécula de glicose ligada a uma molécula de frutose, possuindo massa molar de 342,4 g/mol e fórmula química $C_{12}H_{22}O_{11}$ (NELSON e COX, 2014).

Além da relação C:N deve-se observar também a quantidade de fósforo a ser adicionada ao sistema que deve ser mantida em 7:1 (P:N). Todavia essa relação não é limitante uma vez que após o povoamento com a oferta de ração balanceada, a própria excreção dos animais garante uma relação P:N suficiente para a manutenção do sistema BFT (AVNIMELECH, 2009). Ferreira (2008) verificou que o povoamento dos tanques de camarões impactou positivamente na manutenção dos flocos microbianos, pois sua excreção aumentou a quantidade de fósforo, potencializando o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estruturação dos próprios bioflocos.

Durante o processo de maturação dos bioflocos observa-se como efeito macroscópico, a modificação da coloração da água, passando de transparente para uma coloração esverdeada, indicando a floração de fitoplâncton. Com o passar do tempo esta vai se tornando marrom pelo surgimento e crescimento paulatino de uma microbiota heterotrófica (AVNIMELECH, 1999; CRAB, 2007; EMERENCIANO *et al.*, 2012).

Na aquicultura, diversos organismos aquáticos vêm sendo cultivados em bioflocos e apresentando bom desempenho. Kamilya *et al.* (2017) estudaram a aplicação de BFT no cultivo de alevinos de carpa Rohu (*Labeo rohita*) com foco nos efeitos sobre o controle do nitrogênio inorgânico, crescimento e imunidade. Segundo os autores a relação C:N foi mantida em 15:1 com a imobilização da amônia ocorrendo por bactérias heterotróficas, em vez de nitrificação, como o

mecanismo de remoção de amônia do sistema, enquanto o crescimento dos alevinos foi significativamente melhor quando comparado ao crescimento do peixe em sistema controle.

Mansour e Esteban (2017) avaliando os efeitos das fontes de carbono e níveis de proteínas vegetais em um sistema de bioflocos, no desempenho e imunidade da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), relataram que o volume de bioflocos foi maior quando usado como fonte de carbono subprodutos do trigo. De acordo com os autores, o maior desempenho foi obtido quando os peixes foram alimentados com 20% de proteína bruta em sistema de bioflocos quando comparado aos peixes alimentados com 30% de proteína bruta mantidos em água limpa.

Já Arantes *et al.* (2017) analisando a descarga de nutrientes, quantidade sólidos gerados e características dos efluentes do cultivo intensivo na cultura de camarão cultivados em bioflocos, usando dois métodos de fertilização de carboidratos relataram que a relação C:N de 12:1 mostrou que a frequência de aplicação de carbono não afetou a concentração de nitratos no efluente final descarregado após a colheita. Para os autores uma estratégia de fertilização que utiliza carboidratos apenas no início do período de cultivo permite uma alta produção de biomassa de camarão, com uma perda líquida relativamente baixa de nitrogênio para o efluente, indicando que o melaço só deve ser usado para controlar os níveis de concentração de amônia e não como tentativa em melhorar a retenção de nitrogênio na biomassa de bioflocos.

Dessa forma os estudos aqui levantados nos levam a crer que a tecnologia BFT oferece grande potencialidade de aplicação, com indicação especial aos locais de pouca disponibilidade hídrica e necessidade de oferta de alimento de alto valor biológico com boa capacidade nutricional como o pescado, além de oferecer um meio de cultivo que oferece condições que proporcionam um desempenho zootécnico melhor se comparado aos meios usualmente utilizados, tornando-o interessante tanto aos cultivos artesanais de subsistência quanto aos cultivos comerciais.

4.6 Composição dos Bioflocos

A composição da microbiota em BFT pode variar de acordo com a fonte de carboidrato utilizada (MANAN *et al.*, 2017). Monroy *et al.* (2013), utilizando melão de cana de açúcar e farelo de arroz como fonte de carboidratos, identificou uma população de microrganismos formada por ciliados, rotíferos, algas verdes, nematodos e bactérias. Essas últimas apresentaram um comportamento peculiar de sucessão em que bactérias com potencial tóxico ou patogênico como por exemplo as *Aeromonas* sp e *Vibrio* sp se apresentaram no cultivo até a sétima semana, a partir daí foram substituídas por outras como os *Bacillus* sp e *Nitrospira* sp que não apresentam potencial para causarem impactos negativos ao sistema.

Manan *et al.* (2017) identificaram a composição microscópica dos bioflocos no cultivo do camarão branco do Pacífico (*Penaeus vannamei*) realizado em sistema fechado, foram identificados: Rotíferos; euplotes, protozoários ciliados; *Alexandrium* sp., dinoflagelados; diatomáceas, vorticela e protozoários. Demonstrando grande variedade de microrganismos que embasaram a alimentação dos camarões em cultivo, indicando que o BFT é uma tecnologia promissora para a aquicultura pela capacidade de fornecer alimento ao animal em cultivo e também pela ação de biorremediação, agente de biodegradação auxiliando na manutenção da qualidade da água em um sistema de cultivo que não prevê a troca parcial de água.

4.7 Desempenho Zootécnico

O desempenho zootécnico pode ser entendido como o conjunto de características naturais, selecionadas ou adicionadas geneticamente, que definem a capacidade de rendimento de um determinado animal em cultivo (LIANG *et al.*, 2017). Está ligado diretamente ao potencial produtivo desse animal em relação ao ambiente ou ao tipo de cultivo no qual esse está submetido (KANYILMAZ, 2015).

Os principais índices que avaliam o desempenho de peixes são a taxa de sobrevivência (TS), ganho de peso (GP), consumo alimentar diário (CAD), taxa de crescimento específico (TCE) e taxa de conversão alimentar (TCA). A TCA expressa de forma bastante objetiva a capacidade que um lote de animais em cultivo possui em gerar biomassa a partir do alimento fornecido, uma vez que para se chegar a essa taxa deve-se dividir a quantidade de alimento total oferecida durante o cultivo pelo ganho de peso total (SALHI *et al.*, 2004).

Diversos fatores influenciam na capacidade de conversão alimentar, como por exemplo, a baixa temperatura da água de cultivo de Tilápias pode reduzir o apetite dos animais em até 50%. Quando a temperatura se encontra inferior a 18°C os animais cessam completamente a alimentação, causando grande impacto na produção (OSTRENSKI e BOEGER, 1998; SANTOS *et al.*, 2013). Altas concentrações de amônia ou nitrito também causam redução na taxa de alimentação, pois os animais não tendo como excretar os compostos nitrogenados apresentam resposta fisiológica em não se alimentarem (ZEITOUN *et al.*, 2016).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Estruturação e *layout* do experimento

Este trabalho seguiu os preceitos da Comissão de Ética do Uso Animal (CEUA), prevista pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal, tendo aprovação pela CEUA da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), sob o certificado número 23007.027487/2017-60.

O experimento foi realizado no Núcleo de Estudos em Pesca e Aquicultura (NEPA) do curso de Engenharia de Pesca, da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, sendo alocado em estufa (Figura 4) e estruturado em um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC).

Figura 4 Visão panorâmica externa da estufa experimental onde foi realizado o cultivo de Tilápia do Nilo em sistema de bioflocos.



A espécie estudada foi a Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), variedade chitralada, obtida por doação da piscicultura Aquavale, Ituberá, Baixo Sul da Bahia.

Os ensaios foram realizados em tanques de 250 litros, com volume útil de 150 litros. A produção de Tilápia em sistema BFT foi testada em cinco

densidades contendo 200 (T1), 400 (T2), 600 (T3), 800 (T4) e 1000 (T5) exemplares de alevinos/m³. Cada tratamento foi feito em quatro repetições, valendo-se do método de Champely (2015), admitindo um F² de Cohen estimado em 0,04 e também fundamentado nos trabalhos de Salhi *et al.* (2004), Ekazari (2012), Alves (2013), Santos *et al.* (2013) e Martins *et al.* (2017). Ao todo foi usado um total de 2.048 alevinos distribuídos nos cinco tratamentos, mais o tratamento controle (Sistema de Recirculação de Água – SRA), em 24 tanques (6x4), de PVC, de 250 litros. A distribuição do experimento se encontra esquematizado na Figura 5, os tratamentos foram distribuídos por sorteio.

O tratamento controle serviu de referência comparativa do desempenho zootécnico, uma vez que o SRA é um modelo produtivo consolidado. O TC constou de quatro tanques de 250 litros, com recirculação de água e filtragem, na densidade de 248 exemplares/m³ com base na metodologia de Cochran (1963). O *Layout* experimental é apresentado na figura 5.

Figura 5 *Layout* do delineamento experimental apresentando a distribuição dos tratamentos.



5.2 Obtenção do inóculo BFT e manejo do sistema de produção

Para o estabelecimento de uma microbiota de natureza heterotrófica constituinte do sistema de bioflocos foi utilizado, inicialmente, um tanque de 100 litros, preenchido com 80 litros de água, ajustada a alcalinidade para 120 ppm, pH em 7,8, salinidade em 5ppt, aeração forçada por meio de compressor de ar com potência de 3,5 W e vazão de 6 L/min, ligado por meio de mangueiras de silicone de ¼” a dois difusores, do tipo pedra porosa, cilíndrica, com dimensões de 52 mm por 22 mm, construídas em mineral atóxico. Seguindo a metodologia de Avnimelech (1999), foram realizados os cálculos estequiométricos da relação C:N, estabelecido em 20:1, simulando uma biomassa inicial de 450 g alimentada, a uma taxa de 7% da biomassa. A ração utilizada continha um teor de proteína de 35% e matéria seca igual a 88%.

Como a taxa de assimilação de alimento (ta) da Tilápia é de 30%, e lembrando que apenas 16% da proteína presente na ração é disponibilizada na forma de nitrogênio, para a determinação da quantidade desse elemento disponibilizado no cultivo foi usado o fator de correção (fc) de 6,25. A fonte de nitrogênio utilizada inicialmente para estabilização do biofoco foi a uréia, contendo 46% de nitrogênio.

Os cálculos para se determinar a quantidade da fonte de carboidrato a ser adicionada seguiram o mesmo raciocínio. Como o açúcar mascavo contém 90% de sacarose e 99,78% de matéria seca (ms), usou-se os seguintes cálculos:

i - Quantidade de ração (r):

$$(r) = 450 \text{ g} \times 0,07 = 31,5 \text{ g}$$

ii - Nitrogênio presente na ração (N):

$$(N) = [(r) \times (\%P) \times (ms) \times (ta)] / (fc)$$

$$(N) = [31,5 \times 0,35 \times 0,88 \times 0,70] / 6,25$$

$$(N) = 1,086624 \text{ g}$$

Onde:

%P → porcentagem de proteína;

ms → matéria seca;

ta → (1-ta) referente a taxa de assimilação da Tilápia = 30%;

fc → fator de conversão nitrogênio (16% da proteína presente).

iii – Quantidade de carbono total (C:N = 20:1)

$$(qct) = 1,086624 \times 20$$

$$(qct) = 21,7324 \text{ g}$$

iv - Determinação da massa de ureia (u) a ser utilizada diariamente:

$$(u) = (N) / 0,46$$

$$(u) = 2,34 \text{ g}$$

v - Quantidade de açúcar mascavo (am) a ser utilizada diariamente:

$$(am) = (qct)/0,90$$

$$(am) = 24,14 \text{ g}$$

As quantidades de ureia e açúcar mascavo foram adicionadas à água do tanque contendo o inóculo, uma vez ao dia, até se alcançar 5m L/L de sólidos suspensos decantáveis. Nesse momento foi constatada a formação dos bioflocos ao microscópio e concluído o final da maturação. Também foram aferidos diariamente a amônia total (NH₄), nitrito (NO₂), alcalinidade (kH) e temperatura (T).

A adição do inóculo ao sistema BFT foi realizada na proporção de 1 parte de água com bioflocos para 5 partes de água limpa, em cinco tanques de 250 litros, com volume de 100 L e parâmetros físico-químicos iniciais de alcalinidade de 120 ppm, pH de 7,8, salinidade de 5ppt e aeração constante. Nesta etapa, foi aumentada a oferta de OD, inicialmente aerada com compressor de ar de 6 L/min, e agora com a utilização de dois sopradores do tipo turbina, com potência de 1/6 CV e vazão de 11.400 L/h e o outro com potência de 1/2 CV e vazão de 37.200 L/h.

O compressor de menor potência foi ligado a um sistema *backup*, baseado em um dispositivo com chaveamento automático de segurança energética, alimentado por uma bateria marca Freedom, do tipo estacionária de descarga profunda, com tensão de saída nominal de 12 V e corrente de 115 A/h, ligada a um inversor de energia da marca Lark, com corrente nominal máxima de 600 Va, e saída selecionável (110-220 V). O sistema contou ainda com um carregador inteligente da marca Techfrom, instalado com o objetivo de recarregar a bateria de forma automática, sempre que necessário. Esse procedimento garantiu uma aeração de segurança e uma movimentação da massa de água em todos os tanques, no caso de falta de energia e até o seu reestabelecimento.

Após alcançada a fase de maturação nos cinco tanques iniciais, repetiu-se a repicagem do inóculo por diluição nos demais tanques até que todos os 20 tanques se encontrassem com bioflocos maturados. Nesse momento toda a água dos tanques menores contendo os bioflocos foi passada para um tanque de 3.000 litros, homogeneizada e novamente retornada aos tanques. Este passo teve como objetivo promover a homogeneização do sistema, com a obtenção de uma microbiota padrão, antes do povoamento.

5.3 Sistema de recirculação de água (SRA)

O sistema de recirculação de água (SRA) usado como tratamento controle foi montado em quatro tanques de 250 litros, ligados a um filtro compartilhado, tendo esse 100 L de volume útil. A etapa de filtração ocorreu em duas fases: (i) mecânica, na qual eram retidas as partículas em suspensão ($> 400 \mu\text{m}$) da coluna d'água; e (ii) biológica, baseada na fixação de bactérias denitrificantes em mídia biológica. Foi utilizado como mídia um *mix* de 20 kg de pedras inertes, granulometria de 10 mm e *bioball*. Esse tipo de mídia ofereceu uma relação área/volume de $1.700 \text{ m}^2/\text{m}^3$, possibilitando uma grande área de fixação, em um volume relativamente pequeno. O dimensionamento do volume para a filtração biológica foi baseado em uma biomassa esperada de 9,92 kg, alcançada na etapa final do tratamento controle, alimentada a uma taxa de

alimentação média de 4% do peso vivo ao dia (KUBTIZA, 2011). Assim, o dimensionamento do filtro biológico foi baseado na oferta diária de 396,8 g de ração, gerando uma carga amoniacal de 11,88 g/dia, demandando uma filtragem biológica com capacidade de 0,023 m³ ou 23 litros de mídia, para degradar a amônia gerada diariamente. Para o retorno da água filtrada aos tanques de cultivo foi utilizada uma bomba de recalque, marca Atman, com capacidade de vazão de 1.300 L/h. A fim de evitar a proliferação de algas, o sistema de filtragem contou com a passagem de água por um esterilizador UV, com potência de 36 W, da marca Cubos.

5.4 Recepção e aclimação dos peixes

Os peixes foram aclimatados em 8 tanques de 250 L contendo água limpa, pH ajustado em 7,5, permanecendo em quarentena por um período de sete dias. Inicialmente, foi realizada biometria em 10% do número total de alevinos, para determinar a quantidade de alimentação a ser oferecida no período inicial. Ao final de uma semana os alevinos foram acondicionados de forma aleatória em cada um dos tratamentos, com duração de 64 dias.

5.5 Alimentação dos animais e manutenção dos bioflocos

Os alevinos foram alimentados com ração comercial contendo 35% de proteína bruta em sua composição. A quantidade fornecida foi calculada de acordo com a fase e a biomassa presente em cada tratamento, segundo Kubitzka (2000). A ração em cada fase foi pesada em balança semi-analítica marca BEL, modelo S423, com aproximação de 0,001 g. A quantidade de ração total ministrada em cada tanque durante o experimento foi registrada, para a determinação da conversão alimentar aparente.

Para a manutenção dos bioflocos e sua relação C:N, adicionou-se como carbono o açúcar mascavo, calculado em gramas, dependente da quantidade

de nitrogênio presente na ração, seguindo a metodologia de Avnimelech (1999). A convenção proposta por Avnimelech (1999) estabelece um percentual de carboidrato nas rações comerciais em 50%, realizamos cálculos (Apêndice 1) da quantidade a ser adicionada de carboidrato para cada densidade com ajuste semanal de acordo com o incremento da quantidade de ração relativa ao aumento da biomassa em cada tratamento.

5.6 Parâmetros físico-químicos da qualidade da água

O monitoramento da qualidade da água foi realizado por meio da aferição dos parâmetros físico-químicos (Tabela 2), com a utilização de duas sondas multiparâmetros, uma da marca YSI Modelo Professional Plus (Pro Plus) e a outra HANNA pHep. Os testes de alcalinidade, amônia total e nitrito foram mensuradas por meio de testes colorimétricos e por titulação.

Tabela 2 Parâmetros físico químicos da qualidade da água e as frequências de realização durante o experimento.

Parâmetros	Frequência
Amônia total	Diário (8 e 17h)
Nitrito	Semanal
Alcalinidade	Semanal
Oxigênio dissolvido	Diário (8 e 17h)
Temperatura	Diário (8 e 17h)
pH	Diário (8 e 17h)

Para as análises de sólidos em suspensão, amostras de um litro de água de cada unidade experimental foram coletadas, acondicionadas em provetas, e deixadas em repouso para decantação por 40 minutos. A manutenção dos níveis de sólidos suspensos sedimentáveis foi obtida em 20 mL de sólidos por litro de água. Quando necessário foi realizado o controle dos sólidos suspensos utilizando decantadores dedicados.

5.7 Biometrias

Semanalmente foram amostrados o peso (g) e o comprimento total (mm) de 20% dos indivíduos, escolhidos aleatoriamente em cada um dos tanques tratados. Para se aumentar a precisão biométrica os peixes foram pesados e medidos unitariamente. Assim, após a obtenção do peso médio este foi extrapolado para o lote, com o ajuste semanal da alimentação a partir da biomassa total, e o ajuste da adição de carboidratos.

As medidas de comprimento foram realizadas com a utilização de paquímetro em Inox, marca Vernier Caliper de 20 divisões, com aproximação de 0,05 mm.

Ao final do experimento foi realizada a contagem dos peixes restantes em cada tratamento para o cálculo da taxa de sobrevivência.

5.8 Avaliação do desempenho zootécnico

Os parâmetros utilizados para a avaliação do desempenho zootécnico estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 Relação dos índices observados e suas fórmulas usados para a avaliação do desempenho zootécnico dos alevinos de Tilápia do Nilo cultivados em sistema de bioflocos.

ÍNDICES	FÓRMULAS
Ganho de peso	$GP = (Pf - Pi)$
Ganho de peso diário	$GPD = (Pf - Pi)/dias$
Taxa de sobrevivência	$TS = (Pop\ final / Pop\ inicial) \times 100$
Fator de conversão alimentar	$FCA = Alimento\ fornecido(g) / GP(g)$
Biomassa de estocagem	$BE = Biomassa\ total\ (kg) / Volume\ (m^3)$
Índice de eficiência produtiva	$IEP = ((GPD \times TS) / FCA) \times 100$

5.9 Levantamento qualitativo da microbiota planctônica presente no sistema BFT

A análise qualitativa da microbiota planctônica foi realizada na primeira e última semana do ensaio experimental em duas amostras de 150 mL de água em cada tratamento, incluindo o grupo controle, totalizando 12 amostras. Posteriormente as amostras foram divididas em dois grupos: seis amostras preparadas para a identificação de zooplâncton e seis para a identificação de fitoplâncton. As amostras foram coletadas com a utilização de um béquer, filtradas em rede de 20 µm para fitoplâncton, seguida de outra rede com 100 µm para a pesquisa de zooplâncton. Para a fixação do zooplâncton foi utilizada solução de formalina a 4% (formol PA, neutralizado com carbonato de cálcio, e pH 7,0), na proporção 6:3:1, ou seja, 6 partes da amostra, 3 partes de formalina a 4% e 1 parte do corante rosa de bengala. Para a fixação do fitoplâncton foi utilizada 6 partes da amostra, 3 partes de formalina a 4% e 1 parte de álcool a 70%. O material foi acondicionado em recipientes de 100 mL, fechados e etiquetados, com anotação da data e de qual tratamento foi coletado.

Para a identificação dos microrganismos foi utilizado um microscópio óptico e estereoscópico e uma câmara quadriculada de *Sedwick-rafter* em acrílico. Os grupos zooplanctônicos foram identificados ao menor nível taxonômico possível, utilizando chaves taxonômicas, comparações com pranchas ilustrativas e consultas a bibliografia especializada (KOSTE, 1978; NOGRADY, 1993; ELMOOR-LOUREIRO, 1997; REID, 1999).

5.10 Análise estatística

O experimento foi delineado em um DIC, com cinco tratamentos em diferentes densidades (BFT) e um tratamento controle (SRA), onde a variável resposta analisada foi o ganho de peso.

Para os dados de ganho de peso foi realizada análise de variância (ANOVA). Em se tratando de um fator quantitativo como variável resposta foi realizada regressão a fim de se determinar qual a melhor densidade de cultivo para os alevinos de Tilápia, em sistema de bioflocos. Também foi aplicado teste de Tukey com o objetivo de melhorar a interpretação dos dados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A obtenção do inóculo inicial ocorreu em 60 dias, não havendo controle de temperatura. A alcalinidade do sistema decaiu à medida que o processo de maturação dos bioflocos ocorreu, mantendo o pH em valores próximos a 7,5, indicando o efeito tampão, assim como evidenciando o consumo de carbono inorgânico na própria síntese dos flocos, corroborando com Craig *et al.* (2012) e Martins *et al.* (2016). As variações nos valores das concentrações de amônia e nitrito no decorrer desse período estão apresentadas na figura 6. O parâmetro alcalinidade comportou-se de acordo com os dados visualizados na figura 7.

Figura 6 Variação da amônia e do nitrito durante o período de maturação do inóculo de bioflocos

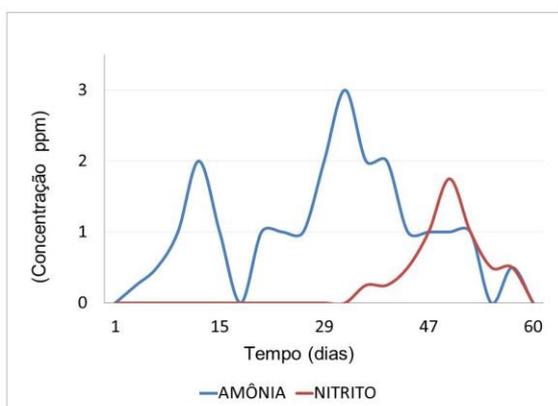
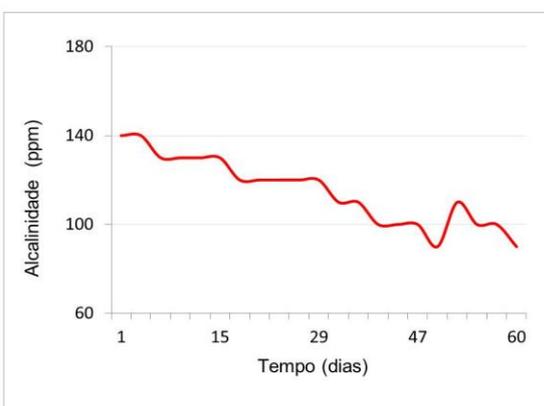


Figura 7 Variação da alcalinidade durante o período de maturação do inóculo de bioflocos



Iniciado o processo de maturação, nota-se no décimo segundo dia um pico de 2,0 mg/L de amônia total, alta essa seguida de uma queda acentuada, chegando a zero já no décimo oitavo dia, indicando a presença de microrganismos consumidores de compostos nitrogenados. A inexistência de nitrito nessa etapa demonstrou que a amônia não foi degradada, mas sim assimilada, característica indicativa da ação de microrganismos heterotróficos, confirmando nesse primeiro momento os resultados obtidos por Avnimelech (1999); Wasielesky *et al.* (2006); Hargreaves (2006); De Schryver *et al.* (2008); Ray *et al.* (2009); Emerenciano *et al.* (2012) e Poli *et al.* (2015).

Dando continuação ao processo de maturação, adicionando-se carbono e nitrogênio ao meio, observou-se no trigésimo quarto dia novo pico amoniacal (3,0 mg/L) e novamente seguido de queda. Todavia agora, diferentemente, foi confirmado a presença de nitrito, provando a ação de microrganismos nitrificantes, atuando de forma conjunta aos Bioflocos, característica essa de um sistema maturado, igualmente validando os resultados de Avnimelech (1999) e Ekasari *et al.* (2014). Nesse período a adição de bicarbonato de sódio para a manutenção da alcalinidade, por vezes, elevou o pH a 10, forçando-nos a diminuir a adição, considerando-se a alcalinidade ideal como 100 ppm, concentração essa indicada também por Martins (2016), suficiente para prover a demanda de carbono inorgânico para a manutenção do pH, e síntese dos bioflocos.

Os valores médios dos parâmetros mensurados diariamente, na etapa de maturação do inóculo de bioflocos, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Valores médios dos parâmetros observados as 8 e 17h durante a fase de maturação do inóculo de bioflocos.

Parâmetros	8h	17h
pH	7,1±0,2	7,8±0,3
Alcalinidade (ppm)	110±20	110±20
Salinidade (ppt)	5±0,7	5±0,7
Temperatura (°C)	24,3±4	28,6±5

A diferença entre o pH mensurado pela manhã (8h) e a tarde (17h) é explicado pela natureza dinâmica da relação da concentração de ácidos e bases no meio aquático, todavia a pequena amplitude da variação demonstra o efeito tampão, proporcionado às custas da alcalinidade. Ressaltamos que a salinidade foi mantida em 5 ppm, assim propiciando um meio rico em cloretos, buscando minimizar possíveis problemas com intoxicação por nitrito.

O término dessa etapa de obtenção do inóculo se deu pela confirmação de três fatores associados: i) Modificação do aspecto macroscópico da água, acusado pela modificação da coloração que foi de um aspecto esverdeado até se tornar marrom (Figura 8a, 8b e 8c); ii) Verificação da concentração de

sólidos suspensos ao nível de 5 mL/L; e iii) Confirmação da presença de bioflocos através de observação em microscópio (Figura 9).

Figura 8 (a) Aspecto macroscópico esverdeado característico da fase inicial do sistema BFT; (b) Aspecto macroscópico da água parcialmente marrom, cor característica da fase intermediária; (c) Aspecto macroscópico marrom, característico da fase final da maturação dos sistemas BFT.



Figura 9 Diferentes flocos formados, observados ao microscópio (40x).



A modificação do aspecto da água do inóculo associado ao controle dos valores da concentração de amônia e nitrito, assim como a confirmação da presença de bioflocos em microscópio estão de acordo com os resultados de Avnimelech (1999), Crab (2007) e Emerenciano *et al.* (2012), tanto sobre a concepção da tecnologia descrita, quanto da aplicabilidade da mesma na manutenção dos níveis de nitrogênio amoniacal na aquicultura.

Após a etapa de maturação do inóculo ocorreu a repicagem, obtendo-se 20 tanques maturados (Figura 10).

Figura 10 Tanques com bioflocos maturados preparados para serem povoados.



O período de repicagem ocorreu entre dezembro de 2017 e fevereiro de 2018, totalizando 87 dias, período coincidente com o verão na região, em que a temperatura máxima da água chegou a 41,5 °C, entretanto não havendo prejuízo ao crescimento da comunidade microbiana, com taxas de absorção de amônia e crescimento de bioflocos regulares. Os valores médios dos parâmetros de água observados nessa etapa estão na tabela 5.

Tabela 5 Valores médios dos parâmetros observados na fase de repicagem

Parâmetros	08h	17h
pH	6,8±0,3	8,1±0,4
Alcalinidade (ppm)	95±5	95±5
Salinidade (ppt)	5±0,7	5±0,7
Temperatura (°C)	28,3±4	36,5±5
Oxigênio dissolvido (mg/L)	3,1±0,7	4,6±0,8
Amônia Total (mg/L)	1±0,5	3,5±0,9
Nitrito (mg/L)	0	0

Quanto ao tratamento controle, o estabelecimento e maturação ocorreram em 20 dias. Os valores médios dos parâmetros mensurados no período estão dispostos na tabela 6.

Tabela 6 Valores médios dos parâmetros observados no grupo controle durante o período de maturação

Parâmetros	8h	17h
pH	6,8±0,5	7,4±0,3
Alcalinidade (ppm)	65	65
Salinidade (ppt)	5	5
Temperatura (°C)	26,3±0,3	32,5±0,7
Oxigênio dissolvido (mg/L)	6,2±0,2	7,8±0,6

Os alevinos para o experimento foram recebidos da Piscicultura Aquavale em março/2018, passando por quarentena, período em que foi observado nos tanques valores de amônia total de até 2 mg/L, controlado através da realização de trocas de 30% da água total do sistema. Registrou-se uma mortalidade inicial de 2% do total de alevinos, sendo as carcaças dos animais submetidas ao processo de compostagem. O lote apresentou grande homogeneidade de peso e tamanho, apresentando, após biometria de 20% do plantel, peso médio de $1,0 \pm 0,072$ g e comprimento médio de $3 \pm 0,3$ cm.

Decorridos setes dias os peixes foram transferidos para as unidades experimentais, onde a mortalidade em Bioflocos foi menor que 0,2%, não sendo registrada nenhuma mortalidade no sistema controle.

Com a alocação dos peixes nas unidades experimentais foi iniciada a alimentação. As quantidades de ração fornecidas diariamente para cada tratamento durante todo o experimento estão apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 Quantidade média em gramas de ração diária fornecida a cada tratamento, por semana.

Semana	T1	T2	T3	T4	T5	TC
1	2,57±0,26	5,15±0,21	8,03±0,60	10,08±0,00	13,39±1,58	5,32±0,22
2	6,54±0,77	11,52±1,10	15,04±2,15	19,52±1,51	24,5±1,47	7,88±0,50
3	9,05±1,80	17,44±2,21	23,59±5,27	27,86±3,01	33,32±1,27	11,58±0,65
4	13,37±2,26	26,31±3,56	32,72±5,03	38,09±1,87	46,96±1,19	15,25±0,76
5	10,08±1,34	18,82±2,41	26,99±5,40	30,00±1,46	32,40±1,73	13,92±2,32
6	12,92±1,28	22,99±2,36	36,73±9,14	37,26±2,30	42,30±4,25	15,69±0,92
7	16,21±2,24	29,49±4,45	46,64±14,28	47,13±2,34	53,55±5,85	19,05±0,73
8	20,94±1,94	36,82±6,19	55,06±20,23	60,46±2,47	64,12±10,54	22,76±1,22
9	23,83±2,25	40,60±5,57	66,35±21,32	66,51±2,75	70,06±11,08	28,03±2,15

Objetivando a diminuição do estresse dos animais e a interferência nos dados de ganho de peso optou-se pela suspensão da alimentação nos dias das biometrias. Outra pausa na alimentação foi necessária, por três dias consecutivos, na quinta semana experimental, devido a um acúmulo de amônia e diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido no sistema, nessa ocasião a concentração da amônia total chegando a 6,5 mg/L em 95% dos tanques com BFT e o oxigênio chegando a 0,74 mg/L nos tanques do tratamento T5. Assim que os níveis de oxigênio dissolvido foram restabelecidos adicionou-se carboidrato na quantidade necessária para propiciar a assimilação da amônia e favorecer o crescimento heterotrófico, reestabelecendo a microbiota, percebido através da diminuição da concentração de nitrogênio amoniacal após 72 h do ocorrido. No transcorrer de 24 h foram registradas concentrações de nitrito de até 28 mg/L, concentração essa muito próxima a

CL₅₀ do N-NO₂- (96 h) de 35,58 mg/L em um cultivo contendo 35,0 mg/L de cloretos, relatada por Yanbo *et al.* (2006). A permanência da alta concentração do nitrito até ao final dessa etapa experimental demonstrou dificuldade do sistema BFT em assimilar esse composto. Nessa ocasião foram registradas mortalidades de 10% no tanque 09 (T3), 0,33% no tanque 02 (T3) e 0,4% no tanque 13 (T4). Registra-se aqui a dificuldade em se observar animais mortos em bioflocos devido a baixa transparência da água nesse tipo de sistema. O acúmulo de amônia foi provocado por uma pausa parcial e não intencional no sistema de aeração, por um período de 4 horas. As variações nas concentrações de amônia e nitrito estão apresentadas nas figuras 11 e 12.

Figura 11 Variação da concentração média de amônia total durante 64 dias nos 05 tratamentos (BFT) e no controle (SRA).

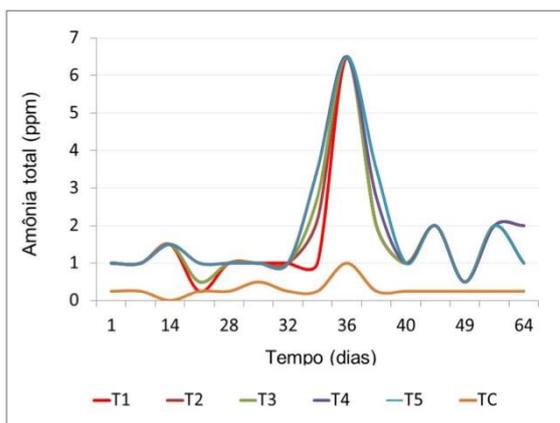
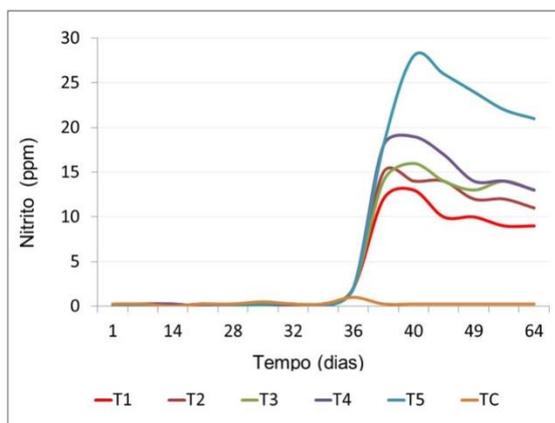


Figura 12 Variação da concentração média de nitrito durante 64 dias nos 05 tratamentos (BFT) e no controle (SRA).



O aumento observado na concentração de nitrito dos tanques com BFT, após a falta parcial e temporária de aeração, evidencia que a partir desse momento a amônia deixou de ser assimilada em sua quase totalidade, para ser degradada por uma microbiota quimioautotrófica, confirmando o exposto por diversos autores como Emerenciano *et al.* (2012) e Crab (2007), sugerindo que essa ação conjunta entre a microbiota heterotrófica e quimioautotrófica ocorre em Bioflocos, possibilitando assim que seja reduzida a quantidade de carbono ministrada quando da presença de quimioautotróficos em quantidade suficiente para degradar a maior parte da amônia presente. A não observação de alta mortalidade foi atribuída à grande resistência apresentada pela Tilápia quando submetida a baixas concentrações de oxigênio dissolvido e a altas

concentrações de compostos nitrogenados (BALDISSETOTO, 2013; LIMA, 2013). Outro fator que influenciou na sobrevivência apresentada foi a presença de teor de sal (5 ppt), mantida nos tanques experimentais, corroborando com os resultados de Luz e Dos Santos (2008), confirmando a diminuição da toxicidade do nitrito na presença de Cl^- no meio aquático, concordando com Yanbo *et al.* (2006) e Baldisseroto (2013).

Fez-se necessário ainda o interrompimento da alimentação em outros três momentos distintos, sendo na sexta, sétima e oitava semana experimental, novamente por interrupção energética que leva a cessão da aeração, nessa ocasião havendo aumento na concentração da amônia em 12 tanques, os quais apresentaram valores médios de 3,5 mg/L. A menor concentração de oxigênio se deu no tanque 19 (T5), chegando a baixos 2,74 mg/L, porém sem nenhuma mortalidade. Mais uma vez foi utilizada adição corretiva de carbono, alcançando-se concentrações de amônia, em menos de 12 h, menores que 1,0 ppm.

Os interrompimentos eventuais da energia por parte da concessionária demonstraram que o sistema em BFT, realizado em salinidade de 5 ppt, é resistente à diminuição momentânea de aeração, indo de encontro ao exposto por diversos autores (i.e. AVNIMELECH, 1999; CRAB, 2007; EMERENCIANO *et al.*, 2012). Nesse experimento, o sistema de segurança energética utilizado (baseado em gerador e bateria) garantiu uma margem de abastecimento de aproximadamente 25% da capacidade total de aeração, essa se mostrando eficiente para segurança de um sistema de cultivo em bioflocos, dedicado a tilapicultura, desde que esse tenha sido bem dimensionado em sua concepção.

O efeito da adição de uma fonte de carboidratos ao sistema dominado por uma microbiota predominantemente heterotrófica foi positivo, proporcionando a assimilação dos compostos nitrogenados oriundo das excreções e das sobras de alimento, mantendo-os em baixas concentrações. Tais resultados são corroborados por diversos pesquisadores (AVNIMELECH, 1999), (WASIELESKY *et al.*, 2006), (HARGREAVES, 2006), (DE SCHRYVER *et al.*, 2008), (RAY *et al.*, 2009), (EMERENCIANO *et al.*, 2012). A efetividade da tecnologia de bioflocos foi confirmada através da observância das concentrações médias de amônia total no sistema no decorrer do experimento, as quais apresentaram valores dentro do tolerável para Tilapicultura. Tais

resultados mostram a concentração da amônia total em bioflocos com valores médios de $1 \pm 0,5$ ppm a uma taxa de manutenção da relação carbono nitrogênio (C:N) em 20:1.

As quantidades da fonte de carbono adicionado diariamente referentes a cada tratamento estão dispostas na tabela 8.

Tabela 8 Quantidade em gramas de açúcar mascavo utilizado diariamente nas unidades experimentais em BFT com os ajustes semanais.

Semana	T1	T2	T3	T4	T5
1	2,24±0,08	4,33±0,22	5,35±0,34	6,19±0,10	7,42±0,16
2	2,78±0,33	4,89±0,47	6,39±0,91	8,29±0,64	10,30±0,63
3	3,84±0,76	7,41±0,94	10,02±2,24	11,83±1,28	14,15±0,54
4	5,68±0,96	11,17±1,51	13,89±2,13	16,18±0,80	19,94±5,37
5	4,28±0,57	7,99±0,97	11,46±2,29	12,74±0,62	13,76±0,73
6	5,48±0,54	9,76±1,00	15,60±3,88	15,82±0,98	17,96±1,81
7	6,88±0,95	12,52±1,89	19,81±6,06	20,01±0,99	22,74±2,48
8	8,89±0,82	15,63±2,63	23,38±8,59	25,68±1,05	27,23±4,47
9	10,12±0,95	17,24±2,37	28,18±9,05	28,25±1,17	29,75±4,70

Com relação aos demais parâmetros mensurados na etapa experimental, o oxigênio dissolvido se apresentou em concentrações distintas nas medições realizadas diariamente às 8 h e 17 h (Figuras 13 e 14).

Figura 13 Variação da concentração média de oxigênio dissolvido, às 08h, por tratamento, durante 64 dias.

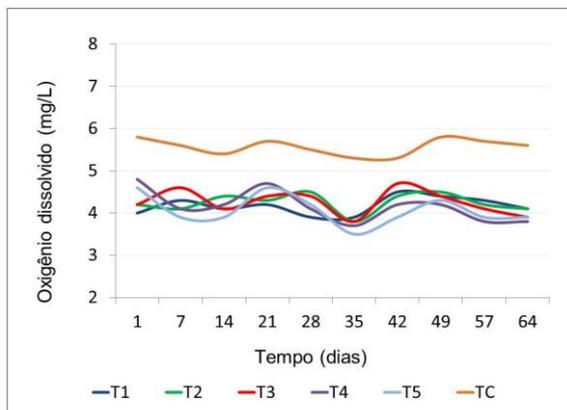
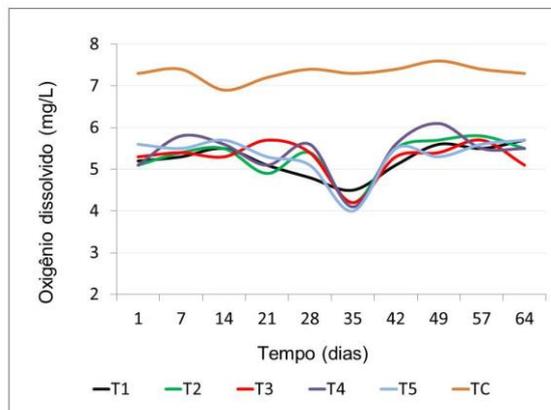


Figura 14 Variação da concentração média de oxigênio dissolvido, às 17h, por tratamento, durante 64 dias.



A variação da concentração média apresentada nas medições realizadas no início na manhã (8h) e no fim da tarde (17h) demonstram que houve produção de oxigênio no decorrer do dia, indicando a presença de microrganismos fotossintetizantes como as microalgas verdes, fato confirmado por Baldisseroto (2013) e Lima (2013), demonstrando a riqueza de espécies de microrganismos em bioflocos, citado por Brol *et al.* (2017). Todos os tanques com bioflocos apresentaram menores concentrações de oxigênio dissolvido em relação ao tratamento controle, independente do horário do dia, discrepância que se explica pela própria natureza heterotrófica da microbiota formadora dos bioflocos, confirmando os resultados de Avnimelech (2009), os quais atribuiu aos microrganismos heterotróficos a taxa de 60% do consumo total de oxigênio em um sistema BFT.

Quanto à temperatura, essa variou de maneira uniforme e progressiva no decorrer do dia, para todos os tanques, comportamento perfeitamente compreensível uma vez que o experimento foi realizado em estufa, demonstrando ser vantajoso o cultivo de espécies tropicais nessas condições. Os valores médios de temperatura no decorrer do experimento estão relacionados na tabela 9.

Tabela 9 Variação média da temperatura em três horários distintos durante 64 dias em 05 tratamentos testando densidades em bioflocos.

Horário de aferição (h)	Temperatura aferida (°C)
08	26,7 ± 0,71
12	28,6 ± 0,57
17	31,9 ± 0,89

Em raras ocasiões a temperatura atingiu, no período matutino, níveis inferiores a 26 °C, ou seja, abaixo da temperatura ótima para cultivo da Tilápia (BALDISSEROTO, 2013; LIMA, 2013), porém rapidamente, no decorrer da primeira hora matinal, esses valores atingiram patamares que se encontram dentro da faixa de conforto para a espécie. Vale ressaltar que mesmo nas ocasiões supracitadas não foi observada diminuição da procura, por parte dos peixes, por alimento.

Quanto ao pH, no decorrer do experimento foi observada uma baixa gradual nos tratamentos de maior densidade, todavia os valores medidos permaneceram com um mínimo em 7,2. Essa estabilidade foi atribuída ao efeito tampão descrito por Martins (2016), reflexo da manutenção dos níveis de alcalinidade sempre próximos a 100 ppm através da adição bicarbonato de sódio (NaHCO₃). Observa-se na figura 15 o comportamento médio do pH durante essa etapa experimental e na figura 16 o comportamento das concentrações de carbonatos, incluindo as correções de alcalinidade realizadas na quarta e na sétima semana experimentais.

Figura 15 Variação média do pH nos 05 tratamentos (BFT) e no tratamento controle (SRA).

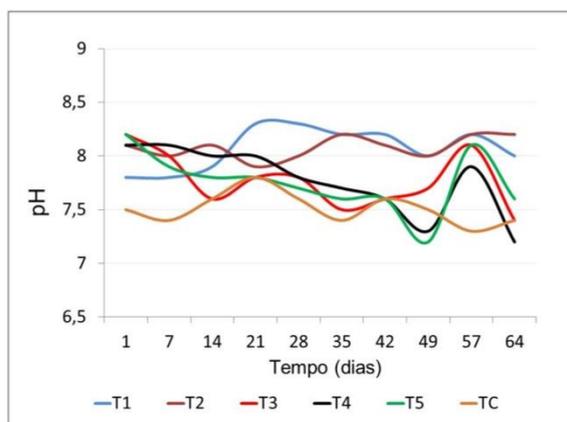
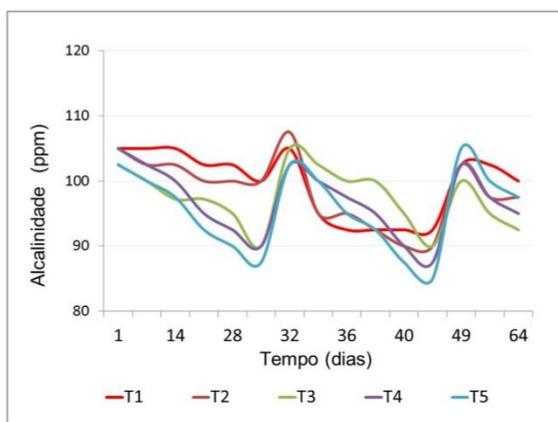


Figura 16 Variação média da alcalinidade nos 05 tratamentos (BFT)



De maneira geral os parâmetros observados demonstraram que o meio de cultivo em bioflocos atende as necessidades físico-químicas da Tilápia nilótica, mostrando-se indicado, nesse quesito, para a atividade de tilapicultura.

6.1 Crescimento da microbiota e retirada dos sólidos sedimentáveis

Cada tratamento obteve uma produção distinta de bioflocos, sendo que as maiores densidades apresentaram maiores produções, reflexo da oferta de maior quantidade de nitrogênio e carboidrato, via ração e açúcar. Como a literatura sugere que se tenha uma concentração de 20 mL/L de sólidos suspensos no sistema (AVNIMELECH, 2011), foi utilizado um decantador dedicado toda vez que se identificava concentração de sólidos maiores que esse limite. Logo, a frequência de decantação variou diretamente proporcional à densidade estocada. Esses valores podem ser observados na tabela 10.

Tabela 10 Frequência de decantações por tratamento em bioflocos no período de 64 dias.

Tratamentos	T1	T2	T3	T4	T5
Decantações	4,0±1,4 c	5,0±1,4 c	7,0±0,81b c	8,5±1,29 b	7,42±0,16 a

Tukey (p<0,05).

Os decantadores utilizados (Figura 17) confirmaram uma taxa de retirada de sólidos de 3mL/L.h⁻¹, tendo cada processo de decantação aproximadamente 2h de duração. O número de decantações necessárias é um indicador da demanda de manejo exigida por cada densidade de cultivo, sendo entendido como a demanda de tempo por parte do piscicultor, refletindo na quantidade de mão-de-obra necessária, logo impactando na receita líquida da produção. Essa variável (hora-homem-produtividade) influencia na escolha da melhor densidade de cultivo, pois perfaz parte do custo de produção numa análise ampliada.

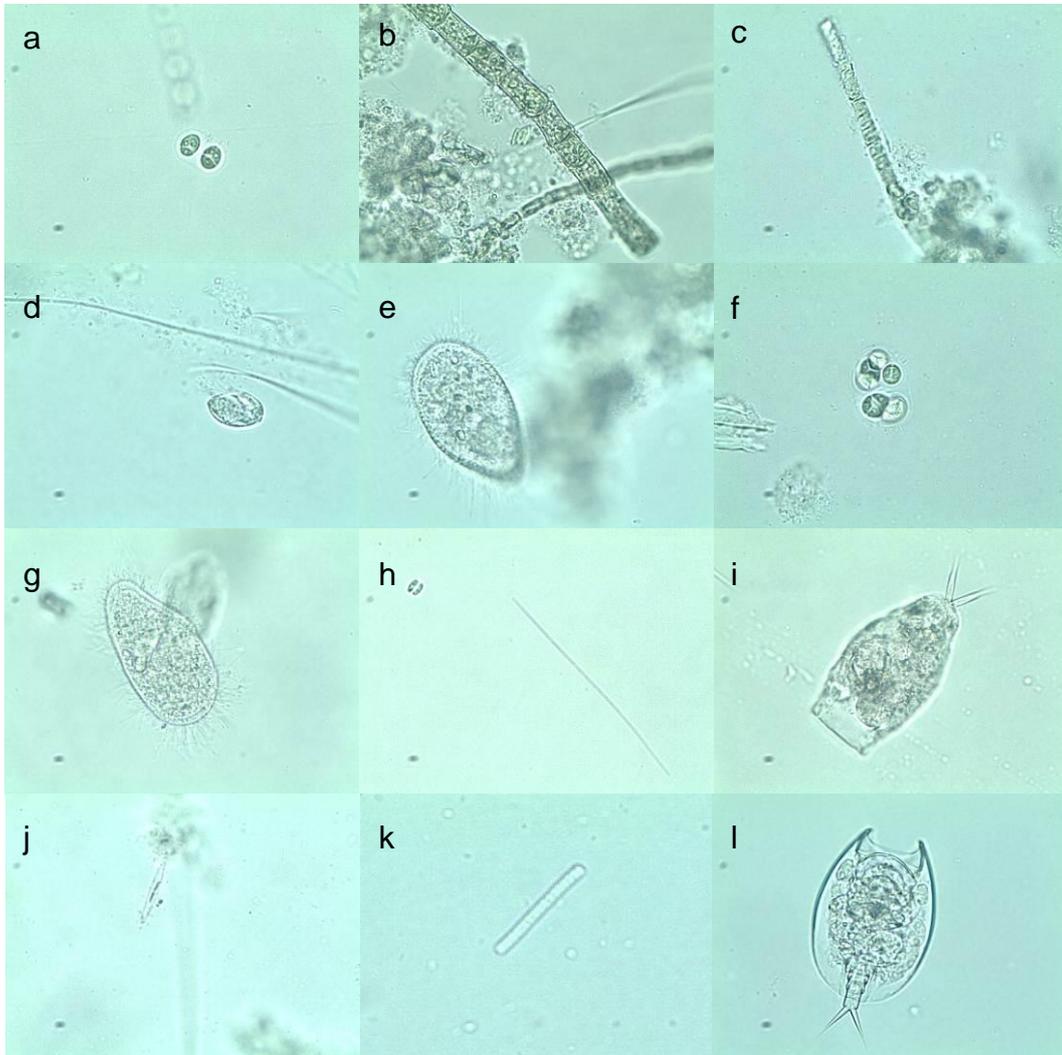
Figura 17 Decantador construído e utilizado no controle da concentração de sólidos em bioflocos.



6.2 Levantamento qualitativo da comunidade planctônica dos tratamentos com bioflocos.

Ao identificarmos a microbiota planctônica componente dos bioflocos observamos grande similaridade entre os tratamentos, o que era esperado uma vez que o volume total da água de todos os tanques foi homogeneizado, pretérito ao povoamento. Na microbiota observada houve predominância de protozoários (ciliados e rizópodos), diatomáceas, Rotífera e algas (verdes e xantofíceas). Na figura 18 observa-se exemplos da microbiota identificada em bioflocos nesse estudo.

Figura 18 (a) *Chroococcus* sp.; (b) *Microspora* spp.; (c) *Ulothrix* sp.; (d) Ostracoda sp.; (e) Ciliado sp.; (f) *Chroococcus* sp.; (g) Ciliado sp.; (h) *Phormidium* sp.; (i) *Lecane* sp.; (j) Diatomácea; (k) *Oscillatoria* sp.; (l) *Lepadella* sp.



A variedade de espécies de microrganismos encontradas nos tanques com o sistema BFT se assemelha aos encontrados por Monroy *et al.* (2013), influenciando de forma positiva no desempenho das Tilápias em cultivo, pois ofereceu um bom complemento alimentar gerado pelos bioflocos, a partir da assimilação dos compostos nitrogenados presentes no cultivo. Tal achado confirma a eficiência do sistema de cultivo baseado na técnica de manutenção em bioflocos, promovendo uma diversa produção planctônica, base de uma alimentação rica em proteína microbiana, assim como dito por Avnimelech

(1999), Avnimelech (2006), De Schryver *et al.* (2008), Ekasari *et al.* (2010), Emerenciano *et al.* (2012) e Monroy *et al.* (2013).

6.3 Desempenho Zootécnico

Os dados das biometrias, do consumo alimentar, assim como biomassa final, fundamentaram os cálculos do desempenho zootécnico, sendo esses listados na tabela 11 com os respectivos coeficientes de variação.

Tabela 11 Dados de desempenho zootécnico referente à cinco tratamentos em BFT e tratamento controle (SRA), durante o período de 64 dias.

TRAT	GP(g)	GPD(g)	TCA	TS (%)	BE(Kg/m ³)	IEP
T1	651,75±76,57	10,18±1,20	0,94±0,05 ^a	90,83 ^{ns}	4,35±0,51 ^b	98,32
T2	989,00±127,93	15,45±2,00	1,13±0,13 ^a	88,33 ^{ns}	6,59±0,85 ^b	125,77
T3	1517,50±143,90	28,43±5,88	0,93±0,08 ^a	89,26 ^{ns}	12,13±1,49 ^a	217,09
T4	1891,25±151,24	29,55±2,36	0,95±0,05 ^a	87,5 ^{ns}	12,61±1,01 ^a	274,96
T5	1811,5±284,02	28,3±4,44	1,15±0,1 ^a	86,33 ^{ns}	12,08±1,89 ^a	219,19
TC	731,08±37,31	11,42±0,58	1,01±0,02 ^a	98,79 ^{ns}	4,87±0,24 ^b	87,43
CV(%)	14,23	-	8,55	15,84	13,79	-

Tukey ($p < 0,05$), ns = não significativo, GP=Ganho de Peso, GPD=Ganho de peso diário, TCA=Taxa de conversão alimentar, TS=Taxa de sobrevivência, BE=Biomassa de estocagem, IEP = Índice de eficiência produtiva.

Apesar da suspensão da alimentação ocorrida em momentos distintos, nosso desempenho zootécnico aferido se mostrou superior quando comparado a recentes resultados da literatura, como a exemplo os obtidos por Brol *et al.* (2017), alcançando valores de conversão alimentar entre $1.21 \pm 0,13$ e $1.29 \pm 0,05$, assim como uma sobrevivência entre 72 e 87%, também para

alevinos de Tilápia em bioflocos. Nossos resultados obtidos ainda são melhores que aqueles encontrados por Schwarz (2016), o qual por um período de 60 dias, testando densidades em cinco tratamentos com alevinos de Tilápia (n=540), peso inicial médio de 4,68 g em SRA, alimentados com 35% de proteína bruta, obteve entre 1,56 a 1,78 para a conversão alimentar e sobrevivência entre 92 e 94%. Destacamos em nosso experimento o valor de conversão alimentar observado no tratamento T4 (800 peixes/m³), apresentando uma taxa de conversão alimentar de 0,95 e sobrevivência de 87,5%.

Essa conversão alimentar aparente está ligada à qualidade alimentar que os bioflocos oferecem aos peixes, tanto que se observou sobras de alimento nos tanques com bioflocos, demonstrando que os animais se encontravam saciados grande parte do tempo. Logo se sugere a necessidade de mais estudos sobre a taxa de alimentação exógena de animais cultivados em bioflocos, levando-nos a crer em maior redução no custo de produção, pois no tratamento controle (SRA), não foram observadas sobras alimentares, indicando que a taxa de arraçoamento estava de acordo com o consumo.

A taxa de sobrevivência (TS) observada entre os tratamentos, incluindo o controle, não apresentou diferença significativa ao nível de 5%, demonstrando que a Tilápia é um peixe resistente ao manejo e indicado para a aquicultura, já provado por diversos trabalhos realizados com Tilápia, tanto em bioflocos quanto em SRA. Todavia observou-se que a taxa média de sobrevivência do BFT (88,45%), independente do tratamento, foi menor que no SRA (98,79%). Obviamente devem ser consideradas aqui as diferenças inerentes aos dois tipos de cultivo, principalmente à própria natureza do experimento, que objetivou o estudo de densidades em bioflocos, não sendo apenas esse fator isolado um indicativo de menor eficiência produtiva.

O Índice de eficiência produtiva (IEP), sim, é bastante empregado na análise e acompanhamento do desempenho zootécnico de animais em cultivos comerciais, principalmente no de aves e suínos, mas que com peixes não é o principal índice. Essa referência é calculada com base nos dados de conversão alimentar, ganho de peso e sobrevivência, e explicita a eficiência de desenvolvimento em regime de cultivo de um determinado animal. Em nossa investigação a maior eficiência produtiva se deu no tratamento T4

(800 peixes/m³), mostrando que nessa densidade houve uma ótima conversão alimentar (0,95) associada a baixa mortalidade (12,5%), ademais um bom ganho de peso por unidade experimental (1.891 g). Fica aqui nossa sugestão, pensando que futuras investigações, de se utilizar esse índice, tanto no meio acadêmico quanto no setor produtivo, a fim de subsidiar uma aquicultura sustentável, sob os três pilares, visando também fundamentar parcerias público-privadas, as quais se debruçam sobre esse índice como referência.

Com relação ao ganho de peso por unidade experimental, esse foi a variável resposta referida para a análise estatística para determinar a melhor densidade de cultivo. Os dados de ganho de peso por tratamento compõem as figuras 19 e 20.

Figura 19 Ganho de peso nos 05 tratamentos (BFT) e no tratamento controle (SRA) durante 64 dias.

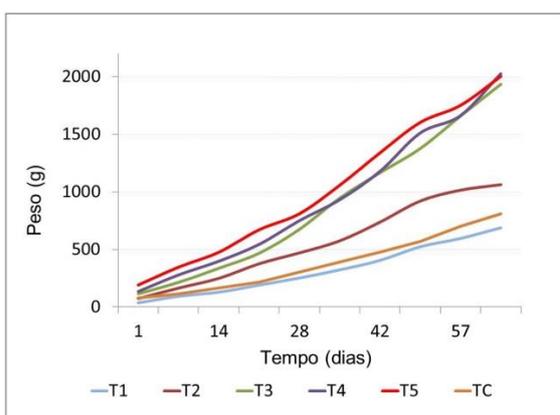
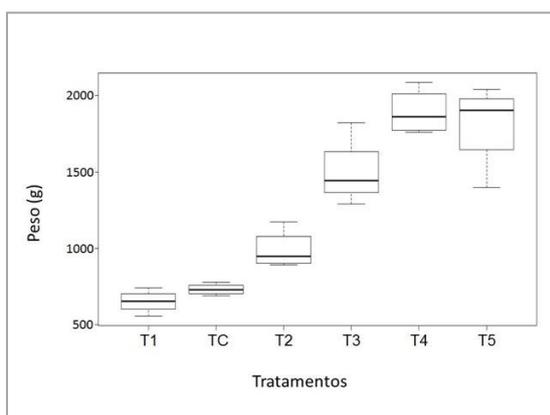


Figura 20 Distribuição do ganho de peso nos 05 tratamentos (BFT) e no tratamento controle (SRA) em 64 dias.



A estatística realizada com os dados de ganho de peso total apresentou correlação de 91,20% entre a densidade de estocagem e o ganho de peso, retornando uma função de regressão linear de segundo grau, expressa pela fórmula $Y = - 0,0017X^2 + 3,724X - 87,77$, com $r^2 = 0,864$ e coeficiente de variação de 14,23%. Observa-se nas figuras 21 e 22 a dispersão dos dados de ganho de peso assim com a linha de tendência da regressão e os desvios padronizados relativos aos tratamentos.

Através do ponto crítico da função de regressão se obteve o valor ideal de 1.057 peixes/m³ como melhor densidade, com ganho de peso estimado em 1.881 g, advertindo que nosso estudo não abrangeu tal faixa, estando aquém

(200 a 1000 exemplares/m³), todavia, como nosso máximo (T5 -1000peixes/m³) encontra-se muito próximo para a densidade ideal realizou-se uma análise de variância com os dados do tratamento T5 e do grupo controle, demonstrando diferença significativa (ao nível de 5%), referenciando o tratamento T5 melhor em termos de ganho de peso, comparando-se ao tratamento controle (248 peixes/m³).

Figura 21 Resíduo padronizado-ANOVA dos 05 tratamentos (BFT).

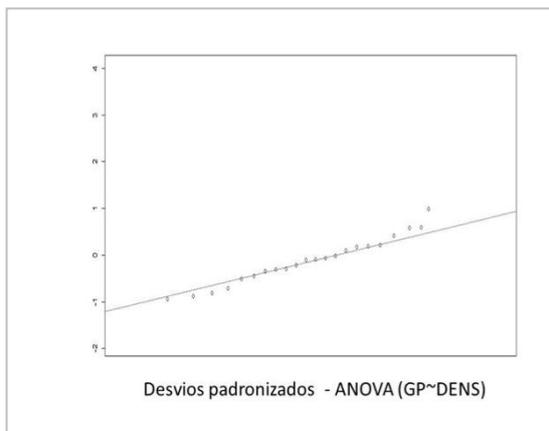
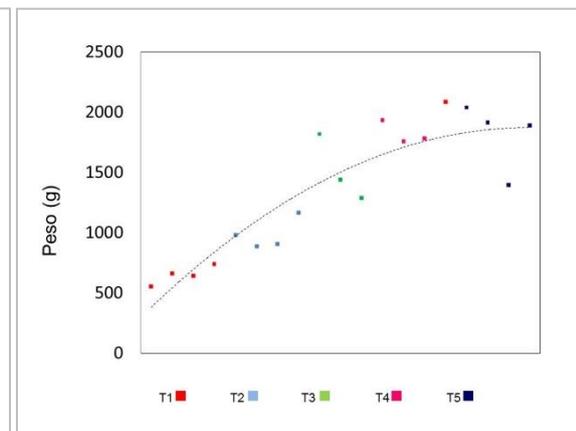


Figura 22 Dispersão e tendência dos dados de ganho de peso nos 05 tratamentos (BFT) durante 64 dias.



Confirmamos que em altas densidades o comportamento territorial da Tilápia é suprimido, impactando positiva e diretamente no desempenho zootécnico, o que também foi relatado por Gomes e Schlindwein (2000) e Lambert e Dutil (2001), resultados que vão de encontro com Lima *et al.* (2015), os quais afirmam não haverem encontrado diferença no desempenho de Tilápias avaliadas sob diferentes densidades de cultivo.

Independente das densidades de cultivo, observamos que a manutenção de uma microbiota heterotrófica reduz os compostos nitrogenados tóxicos aos peixes, ao mesmo tempo oferecendo condições de manutenção de uma grande população de microrganismos, esses servindo de complemento alimentar significativo aos animais, conseqüentemente apresentando um melhor desempenho zootécnico, corroborando com (AVNIMELECH, 1999; SCHNEIDER *et al.*, 2006; CRAB *et al.*, 2007; AVNIMELECH, 2009; CRAIG *et al.*, 2012; EMERENCIANO *et al.*, 2012; MONROY *et al.*, 2013; EKASARI *et al.*, 2014; POLI *et al.*, 2015).

O ganho de peso estimado através da função de regressão (1.881 g) está dentro do intervalo observado para os dados de ganho de peso obtidos nos tratamentos T4 e T5. Logo foi realizado um teste de *Tukey* com os dados de ganho de peso de todos os tratamentos, o qual evidenciou igualdade estatística entre os tratamentos, T3, T4 e T5, além do que entre os tratamentos T1, T2 e o TC como podem ser observados na tabela 12.

Tabela 12 Ganho de peso por tratamento

Tratamentos	GP(g)
T1	651,75±76,57 ^b
T2	989,00±127,93 ^b
T3	1517,50±143,90 ^a
T4	1891,25±151,24 ^a
T5	1811,5±284,02 ^a
TC	731,08±37,31 ^b

Tukey (p<0,05)

Assim, a determinação da melhor densidade de cultivo considerou a função de regressão, os testes de média realizados, além de todos os resultados obtidos nesse estudo, ou seja, a definição da melhor densidade contemplou não somente os dados de ganho de peso, mas sim o conjunto das análises de desempenho zootécnico somadas às outras informações, como a quantidade de manejo exigida e o comportamento dos parâmetros físico-químicos da água de cultivo em bioflocos, levando-nos a uma conclusão, a seguir apresentada.

7 CONCLUSÃO

O sistema em bioflocos é extremamente capaz de assimilar a amônia total proveniente do cultivo de alevinos de Tilápia (*Oreochromis niloticus*) nas densidades de 200, 400, 600, 800 e até 1000 peixes/m³, oferecendo um meio aquático rico em proteína microbiana que maximiza a oferta endógena de alimento para a população em cultivo. Todavia, apresenta a necessidade de adição de carboidratos e grande dependência de aeração o que o vincula à disponibilidade de energia elétrica para a manutenção de aeradores. Tal sensibilidade pode ser atenuada na tilapicultura com o uso de um sistema de segurança energética que garanta 25% da quantidade total de aeração, por um prazo máximo de 8h, essa também podendo ser advinda de outras fontes de energia, como solar e eólica.

Com relação ao ganho de peso nas densidades testadas, chegou-se a função de regressão quadrática $Y = - 0,0017X^2 + 3,724X - 87,77$, não sendo observadas diferenças estatísticas entre as densidades de 600, 800 e 1000 peixes/m³.

Baseado nos dados de desempenho zootécnico com foco no ganho de peso, frequência de decantações e principais parâmetros físico-químicos da água, se conclui que a densidade de 800 peixes/m³ é a mais indicada para o cultivo de alevinos de Tilápia (*Oreochromis niloticus*) com peso inicial de 1 g em sistema de bioflocos (BFT) por um período de 64 dias. Sendo que nessa densidade, a média de ganho de peso em BFT por unidade experimental foi 258,68% maior que a média de ganho de peso por unidade experimental em SRA sob a densidade de 248 peixes/m³, referida aqui como controle. Demonstrando que o sistema de bioflocos melhora o desempenho zootécnico da Tilápia (*Oreochromis niloticus*) em alta densidade na fase inicial de cultivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEBAYO, O. T; FAGBENRO, O. A.; JEGEDE, T. 2004. Evaluation of *Cassia fistula* meal as a replacement for soybean meal in practical diets of *Oreochromis niloticus* fingerlings. **Aquaculture** 10: 99-104.

ALBINATI, R. C. B. 2006. Aquicultura em pequenos açudes no Semi-árido. **Bahia Agrícola** 7: 66-72.

ARANA, L.V. 2004. **Fundamentos de aquicultura**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Editora UFSC.

ARANTES, R.; SCHVEITZER, R.; SEIFFERT, W.Q.; LAPA, K.R.; VINATE, L. 2017. Nutrient discharge, sludge quantity and characteristics in bioflocshrimp culture using two methods of carbohydrate fertilization. **Aquacultural Engineering** 76 1–8.

AVNIMELECH, Y. 1999. Carbon nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture** 176: 227-235.

AVNIMELECH, Y. 2006. Bio-filters: The need for a new comprehensive approach. **Aquaculture** 34:172-178.

AVNIMELECH, Y. 2009. **Biofloc Technology – A practical Guide Book**. The World Aquaculture Society.

AVNIMELECH, Y.; KOCHBA, M. 2009. Evaluation of nitrogen uptake and excretion by Tilápia in biofloc tanks, using 15N tracing. **Aquaculture** 287: 163-168.

AVNIMELECH, Y. 2011. Tilapia production using biofloc technology-saving water, waste recycling improves economics. **Global Aquaculture Advocate** 14: 66-68.

AVNIMELECH, Y. 2012. Nitrogen Isotope: Tool to Evaluate Protein Uptake In Biofloc Systems. **Global Aquaculture Alliance**. Março/Abril. 74-75.

AZIM, M. E.; LITTLE, D. C. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile Tilápia (*Oreochromis niloticus*) **Aquaculture** 283: 1-4.

BAHIA PESCA [internet]. **Pesca e Aquicultura na Bahia**. Disponível em: <http://www.bahiapesca.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=14>. Acessado em abril de 2017.

BALDISSEROTO, B. 2013. **Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura**. Editora UFSM: Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil.

BLANCK, D. V.; TAKAKO, A. K. 2015. **Estado atual do melhoramento genético de peixes no Brasil**. p. 203-304. In: TAVARES-DIAS, M.; MARIANO, W.S. (Org.). Aquicultura no Brasil: novas perspectivas. São Carlos, São Paulo, Brasil.

BOYD, C. E.; WATTEN, B. J. 1989, Aeration systems in aquaculture. **Aquatic Sciences**, 1: 425-472.

BOYD, C. E.; CLAY, J. W. 2002. **Evaluation of Belize Aquaculture Ltd.:** a super intensive shrimp aquaculture system. Rome: FAO, 17p.

BORGHETTI, N. R. B.; OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R. 2003. **Aquicultura: uma visão geral sobre a produção de organismos aquáticos no Brasil e no mundo** (Org.) Curitiba: Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais (GIA). Curitiba, Paraná, Brasil.

- BORGHETTI, J. R.; SILVA, U. A. T. 2008. **Principais sistemas produtivos empregados comercialmente**. p. 73-94. In: OSTRENSKY, A.; BORGHETTI, J. R.; SOTO, D. (Edit.). *Aquicultura no Brasil: o desafio é crescer*. FAO. Brasília, Distrito Federal, Brasil.
- BRABO, M. F.; L. F. S.; SANTANA, J. V. M.; CAMPELO, D. A. V.; VERAS, G. C. 2016. Cenário atual da produção de pescado no mundo, no Brasil e no estado do Pará: ênfase na aquicultura. *Acta of Fisheries and Aquatic Resources* 4: 50-58.
- BRASIL. Ministério da Pesca e Aquicultura. 2013. **Boletim estatístico de pesca e aquicultura do Brasil 2011**. Brasília: República Federativa do Brasil.
- BRIGANÓ, M. V.; PACHECO G. D.; BRIDI, A. M.; OBA, A.; FONSECA, N. A. N.; SILVA, C. A. 2008. Desempenho e características de carcaça de suínos submetidos a diferentes programas de restrição alimentar na fase dos 30 aos 118 kg. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 7:1398-1404.
- BROL, J.; PINHO, S. M.; SGAULIN, T.; PEREIRA, K. R.; THOMAS, M. C.; MELLO, G. L.; MIRANDA-BAEZA, A.; EMERENCIANO, M.G.C. 2017. Tecnologia de bioflocos (BFT) no desempenho zootécnico de tilápias: efeito da linhagem e densidades de estocagem. *Archivos de Zootecnia*. 66: 229-235
- BURFORD, M. A.; THOMPSON, P. J.; MCINTOSH, R. P.; BAUMAN, R. H.; PEARSON, D. C. 2004. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. *Aquaculture* 232: 525–537.
- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. 1987. **Estatística Básica**. Atual, São Paulo, São Paulo, Brasil.
- COCHRAN, W.G. 1963. **Sampling techniques**. 2ed. New York: John Wiley and Sons.
- CRAB, A. B.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, A. B.; BOSSIER, P. B.; VERSTRAETE, W. A. 2007. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production Roselien. *Aquaculture* 270: 1–14.
- CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. 2012. Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356: 351-356.
- CRAIG, L. B.; ANDREW, J. R.; JOHN, W. L.; AVNIMELECH, Y. 2012. Biofloc-based Aquaculture Systems. *Aquaculture Production Systems* 12: 278-306.
- CRAIG, S.; HELFRICH, L. A. 2002. **Understanding Fish Nutrition, Feeds and Feeding**; 420–256. Virginia Cooperative Extension, Yorktown, United States.
- DE SCHRYVER, P.; CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOON, N.; VERSTRAETE, W. 2008. The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture* 277:125-137.
- DIAS, M. T.; MARIANO, W. S. 2015. [Orgs.] **Aquicultura no Brasil: novas perspectivas**. Vol. 1. São Carlos: Pedro & João Editores, 429p.
- ECCLES, D. H. 1992. **Species identification sheets for fishery purposes. Field guide to the freshwater fishes of Tanzania**. (project URT/87/016). FAO, Rome. 145 p.
- ELMOOR-LOUREIRO, L. M. A. 1997. **Manual de identificação de cladóceros límnicos do Brasil**. Editora Universa, Brasília, Brasil.
- EMERENCIANO, M.; CUZON, G.; GOGUENHEIM, J.; GAXIOLA, G. 2012. Aquacop.Floc contribution on spawning performance of blue shrimp *Litopenaeus stylirostris*. *Aquaculture* 44:75-85.

EKASARI, J.; DEASY, A.; WALUYO, S.H.; BACHTIAR, T.; SURAWIDJAJA, E. H.; BOSSIER, P.; DE SCHRYVER, P. 2014. The size of biofloc determines the nutritional composition and the nitrogen recovery by aquaculture animals. **Aquaculture** 426-427: 105-111.

EKASARI, J.; CRAB, R.; VERSTRAETE, W. 2010. Primary Nutritional Content of Bio-Flocs Cultured with Different Organic Carbon Sources and Salinity. **Hayati Journal Bioscience** 17: 125–130.

EBELING, J. M.; TIMMONS, M. B; BISOGNI, J. J. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. **Aquaculture** 257: 346-358.

EL-SHERIF, M. S.; EL-FEKY, A. M. 2008. EFFECT OF AMMONIA ON NILE TILAPIA (*O. niloticus*) PERFORMANCE AND SOME HEMATOLOGICAL AND HISTOLOGICAL MEASURES. Anim. Prod. & Fish Res. 8th International Symposium on Tilapia in Aquaculture.

ESTEVEES, F. A. 1998. **Fundamentos de Limnologia**. Interciência, Rio de Janeiro, Brasil.

FERNANDES, H. J.; PAULINO, M. F.; MARTINS, R. G. R.; FILHO, S. C. V.; TORRES, R. A.; PAIVA, L. M.; MORAES, G. F. B. K. 2004. Ganho de peso, conversão alimentar, ingestão diária de nutrientes e digestibilidade de garrotes não-castrados de três grupos genéticos em recria e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia** 33: 2403-2411.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – Internacional [FAO]. 2012 - Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. 2012. El estado mundial de la pesca y La acuicultura. Roma.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – Internacional [FAO]. 2016. El estado mundial de la pesca y La acuicultura. Contribución a La seguridad alimentaria y La nutrición para todos. Roma.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – Internacional [FAO]. 2018. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

FUENTES, J. A. P.; HERNÁNDEZ, B. M. P.; CARLOS, I.; ROSTRO, P.; FOGEL, I. 2016. C:N ratios affect nitrogen removal and production of Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* raised in a biofloc system under high density cultivation. **Aquaculture** 452:247–251.

GOMES, S. Z.; SCHLINDWEIN, A. P. 2000. Efeito de períodos de cultivo e densidades de estocagem sobre o desempenho do catfish (*Ictalurus punctatus*) nas condições climáticas do litoral de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Zootecnia** 29: 1266-1272.

GELINEAU, A.; MEDALE, F. Y, BOUJARD, T. 1998. Effect of feeding time on post prandial nitrogen excretion and energy expenditure in rainbow trout. **Journal Fish Biology** 52:655-664.

HARGREAVES, J.A. 1998. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. **Aquaculture** 166: 181-212.

HARGREAVES, J. A. 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. **Aquaculture Engineering** 34:344–363.

HARGREAVES, J. A. 2013. **Biofloc Production Systems for Aquaculture**. In: SRAC. Abril, 2013. 4503:8-10.

HERNÁNDEZ, J.; VARGAS, A.F. 2003. A microplate technique to quantify nutrients (NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ and PO₄³⁻) in seawater. **Aquaculture Research** 34: 1201-1204.

IGARASHI, M. A. 2016. Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar Piscicultura CREA.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- NACIONAL. 2015. Rio de Janeiro: **Produção da pecuária municipal**.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA- NACIONAL. 2014. Rio de Janeiro: **Produção da pecuária municipal**.

KAMILYA, D.; DEBBARMA, M.; PAL, P.; KHETI, B; SARKAR, S. S.; SINGH, T. 2017. Biofloc technology application in indoor culture of *Labeorohita* (Hamilton, 1822) fingerlings: The effects on inorganic nitrogen control, growth and immunity. **Chemosphere** 182: 8-14.

KESSEL, V; MAARTJE, A.H.J. 2015. Complete nitrification by a single microorganism. **Nature** 528: 555-559.

KARASU BENLI, A.C.; G. KÖKSAL. 2005. The acute toxicity of ammonia on Tilápia (*Oreochromis niloticus* L.) larvae and fingerlings. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences** 29: 339-344.

KOSTE, W. 1978. Rotatoria. Die Rädertiere Mitteleuropas. II Tafelband. Berlin, **Gebrüder Borntraeger**, 234 p.

KUBITZA, F.; KUBITZA, L. M. M. 2000. Qualidade da água, sistemas de cultivo, planejamento da produção, manejo nutricional e alimentar e sanidade. **Panorama da Aquicultura** 10: 44-53.

KUBITZA, F. Tilápia, Tecnologia e planejamento na produção comercial, 2000. 289p.

KUBITZA, F. 2011. Tilápia: Tecnologia e planejamento na produção comercial. **Revista. Ampliada**. Jundiaí: Acqua Supre Comércio e Suprimentos para Aquicultura. 316p.

LAMBERT, Y.; DUTIL, J. D. 2001. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. **Aquaculture** 192: 233-247.

LASSO, L. F. C.; CASTELLANOS, J. A. A. 2015. Fundamentals of bioflocs technology (BFT). An alternative for fish farming in Colombia: A review. **Orinoquia** 19: 77-86.

LIMA, A. F. 2013. Sistemas de produção de peixes. In: RODRIGUES, A. P. O. Eds. **Piscicultura de água doce: Multiplicando Conhecimentos**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA. 97-108.

LIMA E. C. R.; SOUZA R. L.; WAMBACH X. F.; SILVA U. L.; CORREIA E. 2015. Cultivo da tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* em sistema de bioflocos com diferentes densidades de estocagem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. 16: 948-957.

LIANG, X. F.; HU, Y. C.; DONG, X. F.; WU, Y. C.; QIN, Y. H.; ZHENG, D. D.; SHI, XUE, M. 2017. Substitution of fish meal by fermented soybean meal affects the growth performance and flesh quality of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*). **Animal feed science and technology** 229: 1-12.

LUZ, R. K.; DOS SANTOS, J. C. E. 2008. Stocking density and water salinity on pacamã larviculture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 43: 903-909.

MACHADO, S. S.; L. N. SIMÕES.; A. T. M. GOMIDE.; V. M. F. ALMEIDA.; A. L. L. CARVALHO; 2012. **Tecnologia da Fabricação do Açúcar**. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 56 p.

MANAN, H.; MOH, J. H. Z.; KASAN, N. A.; SURATMAN, S.; IKHWANUDDIN, M. 2017. Identification of biofloc microscopic composition as the natural bioremediation in zero water exchange of Pacific white shrimp, *Penaeus vannamei*, culture in closed hatchery system. **Applied Water Science** 7: 2437-2446.

MARTINS, G. B.; TAROUCO, F.; ROSA, C. E.; ROBALDO, R. B. 2017. The Utilization of Sodium Bicarbonate, Calcium Carbonate or Hydroxide in Biofloc System: Water Quality, Growth Performance and Oxidative Stress of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture** 468: 10–17.

MANSOUR, A. T.; ESTEBAN, M. A. 2017. Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish & Shellfish Immunology** 64: 202-209.

MEDEIROS, A. P. T.; CHELLAPPA, S.; CACHO, M. S. R. F.; YAMAMOTO, M. E. 2005. Encontros agonísticos e territorialidade entre machos de híbrido vermelho de Tilápia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) X *Oreochromis mossambicus* (Peters, 1852) e de Tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (Cichlidae). **Revista Brasileira de Zootecnia** 7: 273-284.

MONROY, D. M. C.; DE LARA, A. R.; CASTRO, M. J.; CASTRO, M. G.; EMERENCIANO, C. M. 2013. Composición y abundancia de comunidades microbianas. **Biología Marina e Oceanografía** 48: 511-520.

MORO, G. V.; REZENDE, F. P.; ALVES, A. L.; GASHIMOTO, D. T.; VARELA, E. S. TORATI, L.S. 2013. **Espécies de peixe para piscicultura**. p. 28-69. In: RODRIGUES, A.P.O. Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimento. EMBRAPA, Brasília, Distrito Federal, Brasil.

MOUSTAFA, M; EL-AZRAK, Z. K. E. M.; ZAKI, M. A.; NEMAT-ALLAH, B. R.; MEHANA, E. E. 2016. Effects of ammonia toxicity on growth performance, cortisol, glucose and hematological response of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Journal of Animal Science** 1: 21-28.

MOYLE, P. B.; CECH JUNIOR, J. J. 1988. Fishes: An introduction to ichthyology. 2. ed. New Jersey: Prentice Hall. 559p.

MANDAL, A. 2018. An Effective Tool for Remediation of Environmental Issues and Cost Effective Novel Technology in Aquaculture Biofloc Technology (BFT). **International Journal of Oceans and Oceanography** 2:2

NAJDEGERAMI, E. H.; BAKHSHI, F.; LAKANI, F. B. 2016. Effects of biofloc on growth performance, digestive enzyme activities and liver histology of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings in zero-water exchange system. **Fish physiology and biochemistry** 42: 457-465.

NELSON, D. L.; COX, M. M. 2014. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. Porto Alegre: Artmed, 2011. 6. ed. Porto Alegre: Artmed.

NEWALL, P, N, B; LA METZELING. 2006. Comparison of diatom and macroinvertebrate classification of sites in the Kiewa River system. **Hydrobiologia** 572: 131-149.

NOGRADY, T. 1993. **Rotifera biology, ecology and systematics**.. The Hauge, Academic. 142p.

OSTRENSKY, A.; BOEGER, W. A. 1998. **Piscicultura Fundamentos e Técnicas de Manejo**. Guaíba, Agropecuária. 211p

OSTRENSKY A.; BORGHETTI, J.; SOTO D. 2008. **Aquicultura no Brasil: O Desafio é Crescer**. Aprenda fácil. Brasília, Distrito Federal, Brasil.

PIEDRAHITA, R. H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. **Aquaculture** 226:35–44.

- POLI, M. A.; SCHVEITZER, R.; OLIVEIRA, N. 2015. The use of biofloc technology in a South American catfish (*Rhamdia quelen*) hatchery: Effect of suspended solids in the performance of larvae. **Aquaculture** 66:17-21.
- POLI, C. 2004. **Aquicultura: experiências brasileiras**. Florianópolis: Multitarefa, 369 p.
- RAY, A. J. A.J, SHULER; J. W. LEFFLER; C. L. BROWDY. 2009. Microbial ecology and management of biofloc systems. pp. 255-266 in: C.L. Browdy and D.E. Jory (eds.). *The Rising Tide: Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Farming*. World **Aquaculture Society**, Baton Rouge, LA.
- RAY, J. A.; LOTZ, J. M. 2014. Comparing a chemoautotrophic-based biofloc system and three heterotrophic-based systems receiving different carbohydrate sources. **Aquaculture** 63:54–61.
- REID, G. 1999. The scientific basis for probiotic strains of *Lactobacillus*. **Applied Environmental Microbiology** 65: 3763-3766
- SAGRATZKI, C. B. A.; PEREIRA-FILHO, M.; BORDINHON, A.; FONSECA, F. A.; ITUASSÚ, D.; ROUBACH, R. Y.; ONO, E. A. 2004. Tolerância de juvenis de pirarucu ao aumento da concentração de amônia em ambiente confinado. **Pesquisa Agropecuária do Brasil** 39: 513-516.
- SALHI, M.; BESSONART, M.; CHEDIAK, G.; 2004. Growth, feed utilization and body composition of black catfish, *Rhamdia quelen*, fry fed diets containing different protein and energy levels. **Aquaculture** 231: 435-444.
- SANTOS, V. B.; MARECO, E. A.; SILVA, M. P. D. 2013. Growth curves of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) strains cultivated at different temperatures. **Acta Scientiarum** 35: 235-242.
- SGNAULIN, T.; DE MELLO, G. L.; THOMAS, M. C.; GARCIA, J. R. E.; DE OCA, G. A. R. M.; EMERENCIANO, M. G. C. (2018). Biofloc technology (BFT): An alternative aquaculture system for piracanjuba *Brycon orbignyanus*. **Aquaculture** 485: 119-123.
- SILVA, P. C.; KRONKA, S. N.; TAVARES, L. H. S.; SOUZA, V. L. 2005. Productive performance of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) in tanks with different water exchanges and stocking density in raceway. **Acta Scientiarum** 24: 935-941.
- SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – [Nacional] SEBRAE. 2015. **Aquicultura no Brasil- serie estudos mercadológicos**. Disponível em [http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOSCHRONUS/bds/bds.nsf/4b14e85d5844cc99cb32040a4980779f/\\$File/5403.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOSCHRONUS/bds/bds.nsf/4b14e85d5844cc99cb32040a4980779f/$File/5403.pdf). Acessado em novembro de 2016.
- SHIMIT, T. 2012. Greening the Blue Revolution: How History can inform a sustainable Aquaculture movement. Eletronic Publishe at: Digital access to scholarship HAWARD, CAMBRIDGE. Apr. Disponível em <http://dash.haward.edu/handle/1/11938741html>. Acessado em abril de 2017.
- SCHNEIDER, O.; SERETI, V.; EDING, E.P.Y.; VERRETH, J.A.J. 2006. Molasses as C source for heterotrophic bacteria production on solid fish waste. **Aquaculture** 261:1239–1248.
- SCHWARZ, K. K.; NASCIMENTO, J. C.; GOMES, V. A. A.; SILVA, C. H.; SALVADOR, J. G.; FERNANDES, M. R.; NUNES, R. M. 2016. DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DE ALEVINOS DE TILÁPIAS DO NILO (*Oreochromis niloticus*) ALIMENTADOS COM LEVEDURA DE *Saccharomyces cerevisiae*. **HOLOS** 387:104-113.
- TAO, W.; YUAN J.; ZHOU, L.; SUN, L.; SUN, Y. 2013. Characterization of Gonadal Transcriptomes from Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Reveals Differentially Expressed Genes. **PLoS ONE** 8: e63604.

TEUGELS, G. G.; PAUGY, D.; LÉVÊQUE C. 2003. The Fresh and Brackish Water Fishes of West Africa. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 1272 p.

TREWAVAS, E. 1983. **Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia***. British Museum Natural History, London, UK. Disponível em <https://archive.org/details/tilapiinefisheso00trew> acessado em 13/02/2018.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. 2008. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, São Paulo, Brasil.

WASIELESKY, W. J. R.; ATWOOD, H.; STOKES, A.; BROWDY, C. L. 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture** 258:396–403.

OISHEE, A. T.; SARKAR, S. B.; UDDIN, M.; MOLLAH, A. K. M. M., RASHID, H. 2018. Effects of climate-induced salinity intrusion on physiology of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Agricultural University** 27–28.

YANBO, W; WENJU, Z; WEIFEN, L. 2006. Acute toxicity of nitrite on tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different external chloride concentrations. *Fish Physiology and Biochemistry* 32: 49-54.

ZEITOUN, M.M; EL-AZRAK, Z. K. E. M.; ZAKI, M. A.; NEMAT-ALLAH, B. R.; MEHANA, E. E.. 2016. Effects of ammonia toxicity on growth performance, cortisol, glucose and hematological response of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Journal of Animal Science** 1: 21-28.

APÊNDICES

Apêndice 1 Cálculos para determinação da quantidade de carbono (450g de ração):

i – Nitrogênio presente na ração

$$(N) = [(r) \times (\%P) \times (ms) \times (ta)] / (fc)$$

$$(N) = [31,5 \times 0,35 \times 0,88 \times 0,70] / 6,25$$

$$(N) = 1,086624g$$

ii – Carboidrato presente na ração (C):

$$(C) = [(r) \times (ms) \times (ta)] / 2$$

$$(C) = [31,5 \times 0,88 \times 0,70] / 2$$

$$(C) = 9,702g$$

Portanto a ração oferece uma relação C:N de 8,9285:1

Para o complemento da relação C:N = 20:1 necessitou-se de 11,07 partes de carbono logo a quantidade de carboidrato a adicionada (qca) foi:

$$\text{iii - } (qca) = (N) \times 11,07$$

$$(qca) = 1,086624 \times 11,07$$

$$(qca) = 12,02 \text{ g de carboidrato}$$

iv– Quantidade de açúcar adicionado (qqa)

$$(qqa) = 12,02 / 0,9$$

$$(qqa) = 13,35g$$