



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA**

CÉLIO HENRIQUE ALEXANDRINO CAVALCANTE

**POTENCIAL OXIDATIVO E CAPACIDADE DE FIXAÇÃO DE BACTÉRIAS
HETEROTRÓFICAS E NITRIFICANTES, EM DIFERENTES MEIOS DE
SUPORTES, NO CULTIVO DE ALEVINOS DE *Oreochromis niloticus*, EM
SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA**

**FORTALEZA
2018**

CÉLIO HENRIQUE ALEXANDRINO CAVALCANTE

POTENCIAL OXIDATIVO E CAPACIDADE DE FIXAÇÃO DE BACTÉRIAS
HETEROTRÓFICAS E NITRIFICANTES, EM DIFERENTES MEIOS DE
SUPORTES, NO CULTIVO DE ALEVINOS DE *Oreochromis niloticus*, EM
SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Pesca do Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Aldeney Andrade Soares Filho

**FORTALEZA
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C364p Cavalcante, Célio Henrique Alexandrino.
Potencial oxidativo e capacidade de fixação de bactérias heterotróficas e nitrificantes, em diferentes meios de suportes, no cultivo de alevinos de *Oreochromis niloticus*, em sistema de recirculação de água / Célio Henrique Alexandrino Cavalcante. – 2019.
131 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Aldeney Andrade Soares Filho.

1. Filtro Biológico. 2. Meio de Suporte. 3. Aquicultura. I. Título.

CDD 639.2

CÉLIO HENRIQUE ALEXANDRINO CAVALCANTE

POTENCIAL OXIDATIVO E CAPACIDADE DE FIXAÇÃO DE BACTÉRIAS
HETEROTRÓFICAS E NITRIFICANTES, EM DIFERENTES MEIOS DE
SUPPORTES, NO CULTIVO DE ALEVINOS DE *Oreochromis niloticus*, EM SISTEMA
DE RECIRCULAÇÃO DE ÁGUA

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Pesca do Departamento de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Aldeney Andrade Soares Filho

Aprovada em: 21 / 06 / 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Aldeney Andrade Soares Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará

Prof.a Dr.a Elenise Gonçalves de Oliveira
Universidade Federal do Ceará

Prof.a Dr.a Francisca Gleire Rodrigues de Menezes
Universidade de Fortaleza

A Deus.

Aos meus pais, Ricardo e Jacqueline, meus irmãos Ítalo e Bruno, e meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me permitir chegar até aqui, dando sempre a força e o discernimento para continuar.

Ao Prof. Dr. Aldeney Andrade Soares Filho, por sempre me apoiar e estimular durante meu período de graduação, sendo fundamental tanto em minha formação acadêmica quanto moral.

Aos membros da banca, professoras Elenise Gonçalves de Oliveira e, Francisca Gleire Rodrigues de Menezes, pela disponibilidade de participar, pelas contribuições e todo apoio dado acerca da monografia.

À minha mãe, Jacqueline Cavalcante, meu pai Ricardo Cavalcante, aos meus irmãos Ricardo Bruno e Ítalo Veras, pelo imensurável apoio e força dado durante toda minha trajetória.

À Prof.a Dr.a Oscarina Viana de Sousa, Prof.a Dr.a Fátima Cristina Teles de Carvalho, e todos os membros do LAMAP/LABOMAR, em especial à Maria João e Larissa do Santos Nunes, por todo auxílio, disponibilização e suporte para realização das análises do presente trabalho.

À minha namorada Kaline Jansen, por toda paciência (ou não), compreensão e força durante essa jornada.

À Empresa Júnior, Consultoria em Recursos Aquáticos – CORAq, por todo aprendizado, amadurecimento e vivências profissionais, que foram de fundamental importância para o meu crescimento como Engenheiro de Pesca.

Aos membros do Laboratório de Bioecologia - LABEC, que compartilharam comigo grandes momentos e lutas durante a execução do presente trabalho.

Aos meus professores do Departamento de Engenharia de Pesca/UFC, que no decorrer dos meus anos de graduação, contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos meus amigos Jessyca Alexandre, Brenda Lopes, Artur Nepomuceno, Marcos Apoliano, Gabriel Asano, Severino Campos, Breno Gomes, Sarah Teles, que desde o início do curso, estão comigo nessa jornada acadêmica.

A todos aqueles que passaram por minha vida até aqui, e que de algum modo contribuíram para o meu crescimento.

“Hoje a minha família é grande demais
É imensa
Eles dizem “você mudou a minha vida”
Eu digo, vocês são a minha vida
Quando você sonha alto
Todos os passos parecem ser o primeiro
Então, esse é só o primeiro passo, mais uma
vez
E a gente tem muito para aprender.”

(Projota)

RESUMO

Tendo a água como fator limitante nos sistemas de produção aquícola, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas de cultivo que viabilizem o uso racional da água. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a capacidade de fixação microbiológica de bactérias autotróficas e heterotróficas, em diferentes meios suportes, bem como o seu potencial de oxidação do nitrogênio amoniacal total (NAT) em um sistema de recirculação de água, no cultivo de alevinos de *Oreochromis niloticus*. No experimento foram considerados dois tratamentos, em que cada um consistia de dois sistemas de cultivo, interligados a dois filtros mecânico-biológicos diferentes, trabalhando em sistema contínuo de recirculação. Como substrato biológico, foram avaliados dois meios de suportes para análise: tampa de garrafa PET inteira e; um tipo comercial existente no mercado (BioTECH). Foram empregados 26 L de tampa de garrafa PET, e 18,5 L do meio comercial para cada tratamento. O experimento teve duração de aproximadamente 112 dias, sendo realizadas quinzenalmente análises microbiológicas, realizadas no Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado - LAMAP e, a cada três dias, as análises de parâmetros de qualidade de água. Os resultados obtidos revelaram que, ambos os meios suportes testados apresentam capacidade de fixação biológica, porém as características do meio de suporte influenciam seu desempenho, uma vez que o comercial apresentou melhor resultado na eficiência oxidativa.

Palavras-chave: Filtro Biológico. Meio de Suporte. Aquicultura.

ABSTRACT

With water as a limiting factor in aquaculture production systems, it is necessary to develop cultivation techniques that enable the rational use of water. The objective of the present work was to evaluate the microbiological fixation capacity of autotrophic and heterotrophic bacteria in different media, as well as their potential for the oxidation of total ammoniacal nitrogen (NTA) in a water recirculation system, in the cultivation of fingerlings of *Oreochromis niloticus*. In the experiment two treatments were considered, each consisted of two cultivation systems, interconnected to two different mechanical-biological filters, working in a continuous recirculation system. As biological substrate, two media of analysis were evaluated: whole PET bottle cap and; commercial type (BioTECH). 26 L of PET bottle cap and 18.5 L of the commercial medium were used for each treatment. The experiment lasted approximately 112 days. Biological analyzes were carried out every two weeks at the Laboratory of Environmental Microbiology and Fish - LAMAP and, every three days, the analysis of parameters of water quality. The obtained results revealed that both media supports tested have biological fixation capacity, but the characteristics of the support medium influence its performance, since the commercial presented better results in oxidative efficiency.

Keywords: Biological Filter. Half Support. Aquaculture.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índices de referência de qualidade de água na piscicultura de água doce.	15
Tabela 2 - Parâmetros físicos e químicos médios obtidos a partir de análises colorimétricas e sondas eletrônicas realizadas durante o teste com MS comercial. .	34
Tabela 3 – Parâmetros físicos e químicos obtidos a partir de análises colorimétricas e sondas eletrônicas realizadas durante o teste com tampa de garrafa PET.	38
Tabela 4 – Desempenho zootécnico dos animais cultivados em sistema de recirculação de água utilizando MS comercial como substrato biológico.	42
Tabela 5 – Resultado das Contagens Padrão em Placas, realizadas em duplicata, para quantificação de bactérias heterotróficas e nitrificantes em diferentes substratos.	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Unidades de cultivo e sistemas de filtragem.	19
Figura 2 – Manta acrílica aplicada ao sistema de filtragem mecânica.	20
Figura 3 – MS utilizados nas avaliações experimentais	21
Figura 4 – Projeção da unidade de tratamento e discriminação das áreas e suas respectivas etapas.	21
Figura 5 – Método de drenagem e controle de nível empregado nos sistemas de cultivo (<i>over flow</i>).	22
Figura 6 – Dimensionamento da tampa de garrafa PET, elaborado em computador.	23
Figura 7 – Recepção e biometria dos alevinos de <i>Oreochromis niloticus</i> utilizadas no experimento.....	24
Figura 8 – Testes colorimétricos utilizados durante o experimento para determinação das concentrações dos compostos nitrogenados.....	26
Figura 9 – Sondas eletrônicas para avaliação de oxigênio dissolvido, pH e temperatura.	26
Figura 10 – Componente utilizado para preparação do meio de cultura para bactérias do grupo heterotróficas.	29
Figura 11 – Esquema utilizado para preparo e determinação do número de UFC das bactérias do grupo das heterotróficas totais presentes nos MS avaliados.	30
Figura 12 – Componentes utilizados para preparação do meio de cultura para bactérias nitrificantes.....	31
Figura 13 – Esquema utilizado para preparo e determinação do número de UFC das bactérias do grupo das nitrificantes presentes nos MS avaliados.	32
Figura 14 – Teste colorimétrico para determinação da concentração de compostos nitrogenados após a fertilização do sistema de cultivo.	35
Figura 15 – Variação do NAT e do nitrito frente às condições de maturação e cultivo utilizando MS comercial como substrato biológico.	36
Figura 16 – Variação do nitrato frente às condições de maturação e cultivo utilizando MS comercial como substrato biológico.	36
Figura 17 – Variação do oxigênio dissolvido (OD) e do pH, frente às condições de maturação e cultivo utilizando MS comercial como substrato biológico.	37

Figura 18 – Variação do NAT e do nitrito frente às condições de maturação e cultivo utilizando tampa de garrafa PET como substrato biológico.....	39
Figura 19 – Variação do oxigênio dissolvido (OD) e do pH, frente às condições de maturação e cultivo utilizando tampa de garrafa PET como substrato biológico.....	40
Figura 20 – Análise para quantificação da carga bacteriológica inicial do substrato biológico de tampa de garrafa PET.....	43
Figura 21 – Análise para quantificação da carga bacteriológica após 28 dias do substrato biológico de tampa de garrafa PET.	44
Figura 22 – Desenvolvimento bacteriológico do MS comercial, durante o período experimental.....	46

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

CCA	Centro de Ciências Agrárias
DEP	Departamento de Engenharia de Pesca
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FBA	Filtro Biológico Aerado
LABEc	Laboratório de Bioecologia
LAMAP	Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado
MS	Meio Suporte
NAT	Nitrogênio Amoniacal Total
PET	Polietileno tereftalato
SRA	Sistema de Recirculação de Água

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Qualidade de água na aquicultura.....	15
2.2 Uso da água em sistemas de cultivo	16
2.3 Filtro biológico	17
2.4 Sistema de recirculação de água (SRA).....	18
3.1 Local do experimento	19
3.2 Estrutura experimental	19
3.2.1 Sistema de filtragem	20
3.2.2 Sistema de recirculação.....	22
3.2.3 Meio de suporte comercial (MS)	22
3.3 Maturação do Filtro Biológico	23
3.4 Povoamento	24
3.5 Análise dos Parâmetros Físicos e Químicos	25
3.6 Desempenho Zootécnico.....	26
3.7 Análise Microbiológica.....	28
3.7.1 Bactérias Heterotróficas Totais	28
3.7.2 Bactérias Nitrificantes Totais.....	30
3.8 Análise Estatística	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Meio de Suporte Comercial	33
4.1.1 Parâmetros Físicos e Químicos	33
4.2 Tampa de Garrafa PET	38
4.2.1 Parâmetros Físicos e Químicos	38
4.2.2 Alimentação e Desempenho Zootécnico.....	41
5 CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Com o acelerado crescimento populacional e o aumento da necessidade de fontes de alimento de qualidade, a pesca e aquicultura vem ganhando grande destaque e importância, por se apresentarem como importantes fornecedoras de alimento e renda para milhares de pessoas em todo o mundo. Devido ao grande crescimento da aquicultura mundial, em 2014 o consumo per capita de pescado bateu um novo recorde, atingido a marca de 19,7 kg (FAO, 2016).

Devido ao prolongado período de estiagem, associado a ações antrópicas decorrentes do mau uso dos recursos hídricos, tornou-se cada vez mais limitado a disponibilidade hídrica para a aquicultura. Segundo levantamento apresentado pela Agência Nacional de Águas, a aquicultura representa umas das principais fontes poluidoras no Nordeste, tendo uma maior representatividade poluidora no Estado do Ceará (BRASIL, 2012).

Com mais de 2/3 de seu território localizado em região tropical, e por apresentar uma grande disponibilidade hídrica, o Brasil apresenta um enorme potencial para aquicultura. Mesmo com todo esse potencial, torna-se necessário o desenvolvimento de técnicas de cultivo que possibilitem o aumento da produtividade, conciliando a diminuição das áreas produtivas e a diminuição da necessidade de renovação de água (BRAZ FILHO, 2000)

Com o aumento da necessidade de uma fonte de proteína de qualidade, aumenta-se o risco de deterioração da água de lagos e reservatórios. Mesmo que disponível para a implantação de um projeto de pesca, é importante observar que a realização da atividade aquícola pode gerar grandes impactos ambientais devido ao grande aporte de nutrientes e matéria orgânica, onde a ração apresenta-se como principal fonte poluidora (BRASIL, 2006).

O desenvolvimento de técnicas de produção com recirculação de água e tratamento biológico, surge a partir da crescente necessidade de cultivo, principalmente em regiões que apresentam restrição a água e a terra. Quando comparado aos sistemas tradicionais de cultivo de peixe, esses sistemas podem proporcionar uma redução de até 90% no consumo de água por quilo de peixe produzido (MARTINS, 2010).

Visando desenvolver técnicas de tratamento do efluente da aquicultura, faz-se necessário estudos que permitam avaliar as melhores formas e técnicas para o

tratamento e reutilização da água para produção animal. Devido ao alto custo das técnicas de cultivo existentes, a determinação do meio de suporte (MS) de microrganismos que apresente a melhor relação custo-benefício é primordial para tornar viável a implantação do sistema. Os principais fatores avaliados são: custo de implantação, custo energético, simplicidade operacional e baixa necessidade de espaço físico (BELLONI, 2011).

A análise da capacidade de fixação microbiológica nos suportes testados permite determinar qual meio bacteriano é o mais propício para o tratamento dos efluentes da piscicultura. As aplicações de meios de cultura específicos facilitam a determinação microbiológica nos meios, de acordo com seu grau de seletividade (VIEIRA, 2004).

A aplicação de altas densidades de cultivo proporciona um elevado volume de fezes, excretadas diariamente pelos organismos cultivados. Devido à baixa digestibilidade das rações comerciais disponíveis, de toda ração fornecida, apenas 70 a 75% da matéria seca é absorvida pelos peixes. Com isso, dependendo da concentração e acrescentado o resíduo metabólico dos animais, tem-se uma produção amoniacal diária entre 2,5 e 3,0% da ração fornecida por dia (KUBITZA, 2003).

A remoção do nitrogênio amoniacal total dos sistemas de recirculação de água (SRA) é obtida a partir de sumidouros, como o processo de nitrificação realizado por bactérias aeróbias autotróficas quimiossintetizantes e heterotróficas (SÁ, 2012).

A aplicação de meios de suporte biológico é uma técnica amplamente utilizada para o tratamento de efluentes domésticos e que, devido à eficiência apresentada, vem sendo utilizada também para o condicionamento do efluente aquícola. Visando a máxima eficiência oxidativa dos sistemas de filtragem biológico, o meio de suporte aplicado deve permitir a boa percolação e homogeneidade do efluente pelos seus interstícios a fim de proporcionar o máximo aproveitamento do sistema (JORDÃO; PESSOA, 1995).

Portanto, faz-se necessário a avaliação do melhor meio de suporte para o tratamento dos compostos nitrogenados produzidos pela aquicultura e, desse modo, avaliar suas capacidades de fixação microbiológica em uma área específica correspondente, para desse modo, se determinar a eficiência filtrante dessas mídias biológicas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Qualidade de água na aquicultura

Tendo em vista a complexidade apresentada pelos ecossistemas aquáticos, uma condição para o desenvolvimento sustentável da aquicultura deverá estar voltada para o comum atendimento dos aspectos ecológicos, econômicos, sociais e político-institucionais (ASSAD; BURSZTYN, 2000).

Kubitza (2003) cita que as condições inadequadas de qualidade de água afetam diretamente o desenvolvimento produtivo na aquicultura. Devido à má gestão dos recursos hídricos e o desconhecimento técnico no setor, torna-se cada vez mais comum a ocorrência de doenças, elevadas taxas de conversão alimentar, mortalidade crônica e elevados custos de produção.

Com a expansão da aquicultura, tem-se observado um aumento de despejo de nutrientes nos ambientes aquáticos, tornando essas áreas impróprias para o cultivo. Desse modo, a produtividade na piscicultura dependerá diretamente da qualidade da água, apresentada pelas variáveis físicas, químicas e biológicas (MACEDO; SIPAÚBA-TAVARES, 2010).

Segundo Sá (2012), a manutenção e conservação da qualidade da água e do solo de ecossistemas utilizados para aquicultura tem grande influência no desenvolvimento dos animais cultivados (Tabela 1).

Tabela 1 - Índices de referência de qualidade de água na piscicultura de água doce.

Parâmetros	Extremos letais	Faixa ótima
Temperatura (°C)	<12 e >40	27 a 32
Oxigênio dissolvido (mg/L)	<1,5	4,0 e 15,0
pH	<4,0 e > 11,0	6,5 e 9,0
Amônia total (mg/L)	>0,5	<0,05
Nitrito (mg/L)	2,0	<0,5
Nitrato (mg/L)	>300,0	<50,0
Alcalinidade (mg/L)	>150,0	20,0 e 150,0

Fonte: Sá (2012).

Esteves (2011) aponta que em aquicultura, a produção de compostos nitrogenados pode se tornar um grande problema tanto no crescimento quanto na produção de animais cultivados, pois além de contribuir para o processo de eutrofização do meio de cultivo, pode ser letal aos organismos cultivados, devido ao seu elevado grau de toxicidade.

2.2 Uso da água em sistemas de cultivo

As técnicas de produção adotados na aquicultura são classificadas em extensiva, semi-intensiva, intensiva e superintensiva. Com o aumento da produção nos sistemas de cultivo, deve-se considerar o aumento da tecnificação da atividade, visando não transformar o cultivo numa fonte de impacto ambiental (LIMA *et al.*, 2015)

No sistema extensivo não há controle de predadores, sobre a qualidade da água e sua entrada e saída do sistema, bem como, não se realiza o fornecimento de ração artificial. Por esses motivos, tal prática apresenta resultados produtivos bem inferiores aos outros tipos de sistemas de cultivo (OLIVEIRA, 2009).

Já os sistemas semi-intensivos apresentam considerável intervenção humana durante a produção, sendo um dos sistemas produtivos mais empregados no Brasil. A nutrição dos animais é fortemente influenciada pela produtividade primária, com realização intensa de adubação química e orgânica, porém sua nutrição é garantida prioritariamente por rações artificiais. A entrada e saída de água é controlada, bem como de parâmetros físicos e químicos. A produtividade varia entre 2.500 a 12.500 kg.ha⁻¹.safra⁻¹ (ZIMMERMANN, 2004).

A tilapicultura comercial intensiva apresenta alto grau de tecnificação, sendo necessário um maior controle dos parâmetros produtivos. No Brasil, a nutrição dos animais cultivados baseia-se quase que exclusivamente de fontes artificiais, sendo empregada rações balanceadas. Tais cultivos podem ser realizados em tanques-rede e em viveiros escavados. A água do ambiente de cultivo deve apresentar alto grau de qualidade, renovação e/ou manutenção (SILVA, 2009).

Ao se levar em consideração o grau de renovação da água de cultivo, os sistemas de produção podem ser classificados em: os de água parada; com renovação e; de recirculação. Nos sistemas de água parada, realiza-se apenas as reposições de água, para compensar perdas por evaporação ou infiltração. Quando

não há grande disponibilidade hídrica, há a opção por sistemas com renovação de água, com entrada e saída contínua, ou renovações periódicas da água, visando a sua manutenção. Já os sistemas de recirculação de água são empregados quando se deseja produzir um grande volume de peixe, porém com quantidade de água limitados. Nesses sistemas, utiliza-se unidades de tratamento mecânico-biológicos visando o acondicionamento da água de cultivo (KUBITZA, 1998).

2.3 Filtro biológico

Ao ser comparado com os sistemas tradicionais de cultivo, temos que os sistemas de recirculação de água com o uso de filtros biológicos para o tratamento dos efluentes, são capazes de proporcionar um menor consumo de água por quilo de peixe produzindo, redução esta que pode chegar a até 90% (AZEVEDO, 2014)

De acordo com dados apresentados pela FAO (2016), estima-se que o Brasil deverá ter um crescimento de 104% na pesca e aquicultura até 2025, onde o protagonista será a aquicultura. Paralelamente ao desenvolvimento aquícola nacional, cresce também a preocupação com a qualidade e quantidade de água utilizada para a produção de pescado. Os efluentes gerados nesse processo normalmente apresentam uma concentração reduzida de oxigênio associado a uma elevada concentração de compostos nitrogenados, matéria orgânica e sólidos em suspensão (BRASIL, 2006)

Os sistemas de tratamento de efluentes têm como objetivo a remoção de substâncias indesejadas da água, ou sua transformação em substâncias menos indesejáveis. Segundo Belloni (2011), a remoção e/ou transformação dos efluentes podem ser classificados em físicos, químicos e biológicos.

O processo físico se baseia na separação de compostos que se apresentam em fases distintas (líquido/sólido), por exemplo. Já o processo químico está associado à adição de produtos químicos para o tratamento dos efluentes. No processo de tratamento biológico, é realizado o tratamento dos efluentes através de processo de síntese biológica dos compostos dissolvidos na água (BELLONI, 2011).

Segundo Nascentes (2004), um filtro biológico baseia-se, genericamente, por um leito fixo permeável passível de fixação de microrganismos para a formação de um biofilme. Tal método de tratamento apresenta grande vantagem devido ao fato de ser capaz de concentrar uma elevada carga biológica.

2.4 Sistema de recirculação de água (SRA)

Com designação inicial para o tratamento de esgoto, os SRA passaram por uma série de evoluções, que possibilitaram o aumento da eficiência oxidativa dos compostos tidos poluidores. De acordo com Jordão e Pessoa (1995) os processos biológicos de tratamento têm por objetivo reproduzir, em estruturas pré-dimensionadas, as condições biológicas observadas na natureza. Temos como principais processos biológicos de tratamento a oxidação biológica aeróbica e anaeróbica, e a digestão orgânica.

O mecanismo do processo de recirculação de água é caracterizado pela percolação do efluente de maneira contínua através do meio suporte. A passagem do efluente promove o desenvolvimento da flora e da fauna microbiológica na superfície do meio suporte. Para maximização das reações aeróbicas, é necessária ampla ventilação através das mídias biológicas, de forma a permitir tanto a passagem dos efluentes como também para suprir a demanda por oxigênio (JORDÃO; PESSOA, 1995).

Para Santos (2005) os filtros biológicos aerados (FBA) utilizam normalmente meios suportes plásticos, existindo no mercado em vários tipos e modelos, cada qual com suas características físicas específicas.

Com o desenvolvimento da tecnologia de filtração biológica, diversas pesquisas buscam desenvolver materiais que agreguem características convenientes ao processo. “Meio suporte” pode ser definido como sendo uma massa sólida que apresenta a finalidade de agregar biomassa bacteriana, que sejam capazes de proporcionar condições favoráveis à realização das reações bioquímicas pertinentes ao processo, permitindo ampla ventilação (JORDÃO; PESSOA, 1995).

Rebouças (2010) salienta que para ocorrer a remoção do NAT da água, é necessário a ocorrência de três processos, sendo eles a assimilação, nitrificação e a desnitrificação. O processo de nitrificação baseia-se na síntese amoniacal bacteriana em ambiente com a presença de oxigênio. Esse processo provoca a oxidação da amônia em nitrito e em seguida a oxidação do nitrito em nitrato. Para isso, as bactérias nitrificantes utilizam o CO₂ como fonte de carbono inorgânico e os compostos nitrogenados como fonte de energia.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Bioecologia localizado no Departamento de Engenharia de Pesca do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará (LABEC/DEP/CCA/UFC), no Campus do Pici, e no Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado, localizado no Instituto de Ciências do Mar (LAMAP/LABOMAR), durante o período de junho de 2017 a maio de 2018.

3.2 Estrutura experimental

O experimento objetivou avaliar a possibilidade de realizar o tratamento dos efluentes de piscicultura utilizando-se dois meios suportes pré-determinados: tampa de garrafa PET e um meio suporte comercial.

Para a avaliação dos meios de suporte comercial, foram realizados dois tratamentos cada um composto por quatro cubas de acrílico, cada uma com um volume de 50 L (Figura 1), interligadas a um sistema de filtragem mecânica e biológica. Cada cuba recebeu 28 (vinte e oito) pós-larvas de tilápia do Nilo, recém masculinizadas, com uma média de peso de 0,66 g.

Figura 1 – Unidades de cultivo e sistemas de filtragem.



Fonte: o Autor.

3.2.1 Sistema de filtragem

Para a realização do condicionamento da água de cultivo, foram utilizados dois processos de filtragem do efluente: filtragem mecânica e filtragem biológica. As estruturas básicas das unidades de tratamento apresentavam as mesmas características, onde o único elemento variável durante os tratamentos eram os MS para fixação microbiológica. Os filtros utilizados no sistema apresentavam as seguintes características:

Material: Vidro
Formato: Retangular
Largura: 0,45 m
Comprimento: 0,65 m
Altura útil: 0,3 m
Volume útil: 87 L

Para realização da filtragem mecânica, foi utilizado manta acrílica fabricada em poliéster (Figura 2). Sua função era de retenção das impurezas sólidas produzidas pelo sistema de cultivo, a fim de impedir sua passagem para a unidade biológica.

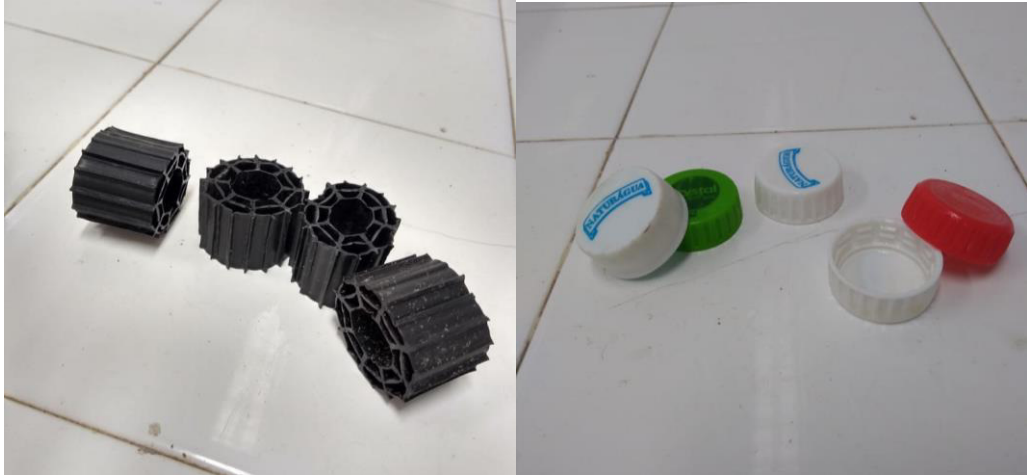
Figura 2 – Manta acrílica aplicada ao sistema de filtragem mecânica.



Fonte: o Autor.

Para os tratamentos, foram utilizados dois meios suportes: Tampa de garrafa PET e um meio suporte comercial (Figura 3). A principal função dos mesmos foi servir de suporte de fixação biológica, e assim, efetuar a oxidação dos compostos nitrogenados.

Figura 3 – MS utilizados nas avaliações experimentais

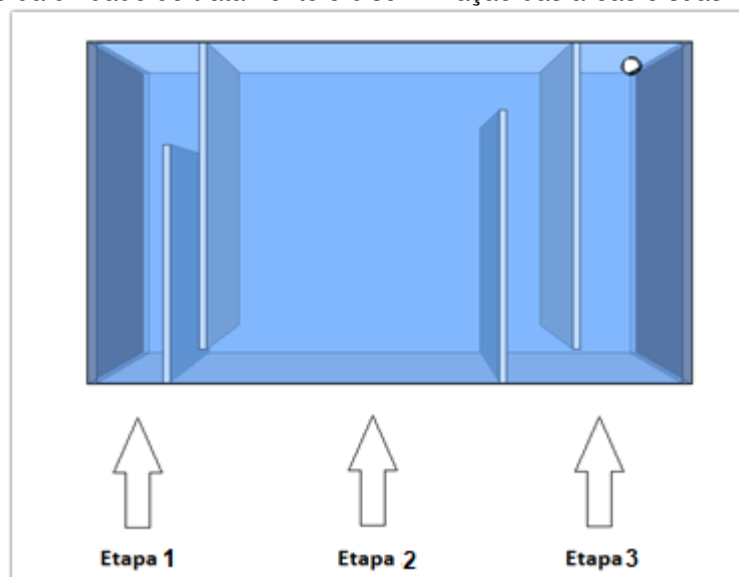


Fonte: o Autor.

Com isso, o esquema de filtração da água ocorria dividido nas seguintes etapas (Figura 4):

- Etapa 1: bombeamento de retorno da água, reiniciando o processo de circulação;
- Etapa 2: unidade de tratamento biológico;
- Etapa 3: captação do efluente e filtração mecânica.

Figura 4 – Projeção da unidade de tratamento e discriminação das áreas e suas respectivas etapas.

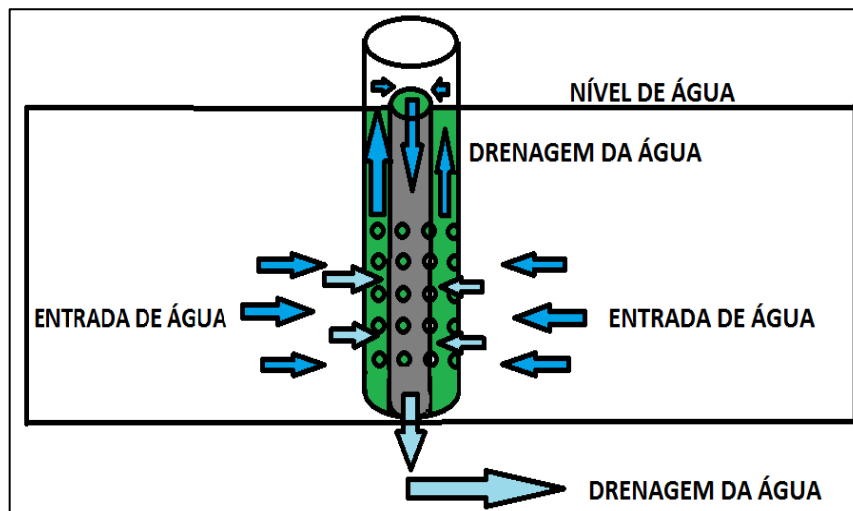


Fonte: o Autor.

3.2.2 Sistema de recirculação

O sistema se baseou num processo ininterrupto de circulação. A água era drenada com o auxílio da força gravitacional. O nível dos tanques era controlado com o auxílio de “over flow”, em que um tubo central controla o nível do tanque, e um outro tubo, com diâmetro maior, perfurado em sua base, o reveste. Esse método promove uma isenção da necessidade de sifonagem dos sistemas (Figura 5). O tudo de drenagem localizava-se ao centro da unidade de cultivo que, conciliado à concavidade da mesma, concentrava todo material sólido ao centro, otimizando o processo de drenagem. O sistema de retorno da água foi proporcionado por bombas submersa de vazão 1.500 L/hora.

Figura 5 – Método de drenagem e controle de nível empregado nos sistemas de cultivo (*over flow*).



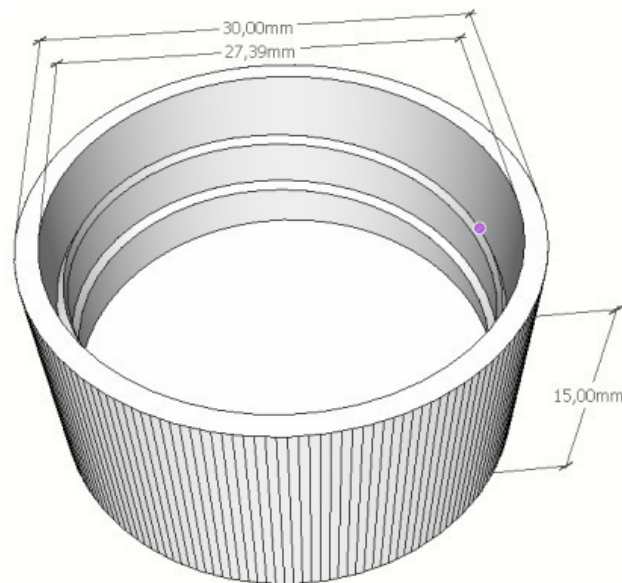
Fonte: o Autor.

3.2.3 Meio de suporte comercial (MS)

Para os testes, foram escolhidos dois tipos de material para suporte biológico: tampa de garrafa PET e um meio suporte comercial. Após a aquisição dos MS, foi realizada a higienização, secagem e quantificação dos mesmos, para em seguida, serem inseridos aos filtros biológicos. Visando estocar quantidades aproximadas de meio suporte aos sistemas, foi realizado a determinação das superfícies específicas.

Segundo Colares (2017), tampas de garrafa PET apresentam aproximadamente uma superfície específica em torno de $39,4 \text{ cm}^2.\text{unidade}^{-1}$ (Figura 6). Com isso, foi aplicado a cada filtro biológico uma quantidade de 2088 tampas, o que gerou um volume aproximado de 26 L de material. A área específica total aplicado a cada unidade foi, desse modo, 82270 cm^2 .

Figura 6 – Dimensionamento da tampa de garrafa PET, elaborado em computador.



Fonte: Colares (2017).

O segundo meio testado apresenta configuração em formato de colmeia, amplamente utilizada em sistemas de tratamento de esgoto doméstico. De acordo com o fabricante, cada peça apresenta uma superfície específica aproximada de $97,00 \text{ cm}^2$. Desse modo, para que os testes apresentassem a mesma área específica, foram aplicados a cada filtro uma quantidade de 848 peças, totalizando um volume de 18,5 L. A área específica total aplicada a cada unidade foi, desse modo, 82256 cm^2 .

3.3 Maturação do Filtro Biológico

Para estimular o desenvolvimento dos organismos filtrantes nos meios de suporte, foi induzido no sistema um pico de nitrogênio amoniacal total (NAT) de 5 mg/L. Para isso, utilizou-se como fonte nitrogenada a ureia $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$.

Segundo Kappes, Zancanaro e Jesus (2013), a concentração de nitrogênio presente na ureia é de aproximadamente 45%. Desse modo, para alcançar a concentração estipulada de 5 mg/L de NAT, e tendo em vista que o volume total do sistema era de aproximadamente 200 L, a quantidade utilizada foi de 0,45 g.

Assim que realizada a fertilização, foi iniciado o processo de acompanhamento das concentrações dos parâmetros físicos e químicos da água. As análises eram realizadas a cada três dias utilizando testes colorimétricos para amônia total, nitrito e nitrato. Foi monitorado também, durante o período de estabilização, os valores de oxigênio dissolvido, pH e temperatura.

3.4 Povoamento

O povoamento do sistema foi realizado após a estabilização dos compostos nitrogenados, o que ocorreu para o teste 1 com tampas de garrafa PET, em 28 dias. Cada unidade produtiva foi povoada com 28 pós-larvas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), com um peso médio de 0,66 g, recém masculinizadas (Figura 7).

Figura 7 – Recepção e biometria dos alevinos de *Oreochromis niloticus* utilizadas no experimento.



Fonte: o Autor.

Os animais foram adquiridos da fazenda “FishX”, localizada no município de Aquiraz/CE. As pós-larvas foram coletadas nas primeiras horas do dia,

aconditionadas em sacos plásticos com sal comum (NaCl) e oxigênio. Ao chegar na unidade experimental, os animais foram transferidos para um recipiente plástico, com aeração mecânica, e coletados em pequenas quantidades para realização da biometria inicial.

Para a biometria, foi realizado banho em solução salina e em solução contendo Eugenol, visando a minimização do estresse dos animais. Os parâmetros biométricos avaliados foram peso e comprimento total. A reposição de animais foi realizada apenas durante os dois primeiros dias, haja vista o estresse sofrido pelos mesmos devido ao manejo realizado.

3.5 Análise dos Parâmetros Físicos e Químicos

Durante todo o experimento, foram coletados a cada três dias, os parâmetros de NAT, nitrito, nitrato, pH, oxigênio dissolvido e temperatura, com o intuito de acompanhar o comportamento dos compostos nitrogenados frente as condições semelhantes ao encontrado em um sistema de cultivo.

Os dados obtidos têm como objetivo auxiliar na decisão de qual meio suporte apresenta maior potencial oxidativo dos compostos nitrogenados e, conseqüentemente, propiciem melhores condições para o desenvolvimento de bactérias heterotróficas e nitrificantes.

Os testes para determinação do NAT, nitrito e nitrato foram realizados através de testes colorimétricos da marca *API Test freshwater*, realizados em duplicata (Figura 8). As análises das concentrações de oxigênio (mg L^{-1}) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) foram realizadas com o auxílio de um oxímetro digital ICEL OD - 4000, e pH com um pHmetro digital *Pen typer* modelo 8685 (Figura 9).

Figura 8 – Testes colorimétricos utilizados durante o experimento para determinação das concentrações dos compostos nitrogenados.



Fonte: Apifishcare (2018).

Figura 9 – Sondas eletrônicas para avaliação de oxigênio dissolvido, pH e temperatura.



Fonte: o Autor.

3.6 Desempenho Zootécnico

Foram realizadas avaliações zootécnicas durante todo o período experimental, em intervalos de sete dias. Para isso, uma amostra de 14 peixes foi tomada, para realização da determinação do peso individual (g), em balança com

três casas decimais, e comprimento total (mm), com paquímetro, precisão de 0,01 mm . Contabilizou-se também, o número de peixes no início e final, e a quantidade de ração fornecida, em cada sistema.

Com os dados zootécnicos coletados, foi possível estimar:

- a) **Biomassa (B)**: a biomassa foi calculada a partir do número total de peixes (N) estocados, vezes o peso médio (PM). A cada biometria realizada, foi contabilizado também a mortalidade referente a cada sistema

$$B = (N - M) \times PM \quad (1)$$

- b) **Taxa de sobrevivência (%)**: a sobrevivência foi determinada, dividindo-se o número de indivíduos ao final do experimento (Nf) pelo número de indivíduos no início (Ni), em seguida, multiplicando o valor obtido por 100.

$$TS (\%) = Nf / Ni \times 100 \quad (2)$$

- c) **Taxa de crescimento específico do peso – TCEW (%)**: O calculo foi realizado utilizando-se a fórmula abaixo:

$$TCEW (\% \text{ dia-1}) = ([\ln Wf - \ln Wi] / t) \times 100 \quad (3)$$

Onde: Wf = peso final (g); Wi = peso inicial (g); t = tempo de cultivo

- d) **Taxa de crescimento específico do comprimento – TCEL (%)**: O calculo foi realizado utilizando-se a fórmula abaixo:

$$TCEL (\% \text{ dia-1}) = ([\ln Lf - \ln Li] / t) \times 100 \quad (4)$$

- e) **Conversão alimentar (CA)**: Foi obtido dividindo a quantidade de ração fornecida (Rf) pelo ganho em biomassa (Bf – Bi)

$$CA = Rf / (Bf - Bi) \quad (5)$$

3.7 Análise Microbiológica

Tendo como premissa base a biorremediação como método de acondicionamento e estabilização dos sistemas aquícolas, torna-se necessário a determinação quantitativa da capacidade de fixação microbiológica dos MS aplicáveis aos SRA. As avaliações realizadas priorizaram a determinação de dois grupos específicos: bactérias heterotróficas e bactérias nitrificantes.

A técnica de quantificação bacteriana utilizada foi o *Pour Plate*. A estimativa do número de células viáveis aplicado foi o de Contagem Padram em Placas. As coletas das amostras foram realizadas com o uso de swabs esterilizados, e adicionados posteriormente ao meio diluente de salina 0,85% (VIEIRA, 2004).

Para a avaliação de cada MS, foram realizadas 4 análises microbiológicas, distribuídas da seguinte maneira:

- 1ª análise: coleta Zero, para avaliação da carga microbiana inicial;
- 2ª análise: após a estabilização dos compostos nitrogenados totais;
- 3ª análise: após 15 dias contados a partir da estabilização do sistema;
- 4ª análise: coleta final, após transcorridos 28 dias de estabilização.

Devido à diferença de área superficial específica dos MS utilizados, foram utilizados para a avaliação, quantidades diferentes de peças para a avaliação, de modo a tornar o mais próximo possível as Áreas Superficiais Específicas (ASE) analisadas.

Para o MS comercial, foi utilizado apenas uma peça, totalizando uma ASE de 0,0094 m². Já para a avaliação da tampa de garrafa PET, foram utilizadas 2 peças, totalizando uma ASE de 0,00788 m².

3.7.1 Bactérias Heterotróficas Totais

Para a quantificação dos grupos bacterianos heterotróficos totais, foi seguida a metodologia proposta por Vieira (2004). O método utilizado para a realização da análise foi a *Contagem Padrão em Placas* com 0,85% de NaCl, em placas contendo o meio de cultura.

O processo visa a determinação das Unidades Formadoras de Colônia (UFC) de diferentes microrganismos que poderão se desenvolver. Para isso, a técnica escolhida para análise foi o *Pour Plate*, e o meio de cultura utilizado foi o

Plate Count Agar (PCA) (Figura 10). O meio foi esterilizado em autoclave por 15 minutos a uma temperatura de 121 °C. Em seguida, foi realizado diluições seriadas das amostras (10^{-1} a 10^{-5}) em solução salina a 0,85% de NaCl. Com o auxílio de uma pipeta de 1,0 mL, foram retiradas alíquotas das diluições, e em seguida transferidas para placas de Petri. Ao passo que se realizavam as inoculações, acrescentava-se aproximadamente 15 mL do meio de cultura, e as homogeneizando realizando-se movimentos em “oito”. Para uma maior segurança, foram realizadas análises em duplicata (VIEIRA, 2004).

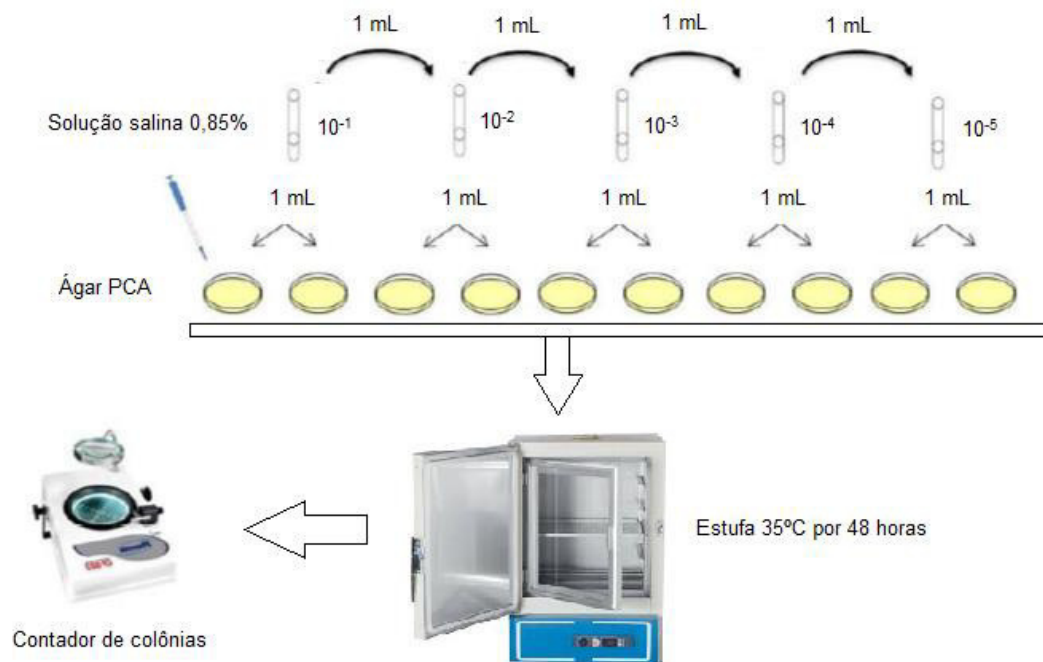
Figura 10 – Componente utilizado para preparação do meio de cultura para bactérias do grupo heterotróficas.



Fonte: o Autor.

Após a inoculação e homogeneização de todas as placas, e ocorrido a solidificação do meio, as placas foram vertidas e incubadas por 48 horas a uma temperatura de 35 °C. Em seguida, as placas contendo entre 25 e 250 colônias crescidas foram quantificadas utilizando um contador de colônias (Figura 11). Os resultados foram expressos em Unidades Formadoras de Colônia por metro quadrado (UFC.m⁻²) (VIEIRA, 2004).

Figura 11 – Esquema utilizado para preparo e determinação do número de UFC das bactérias do grupo das heterotróficas totais presentes nos MS avaliados.



Fonte: o Autor.

3.7.2 Bactérias Nitrificantes Totais

A estimativa desse grupo de bactérias foi realizada por meio do método de Contagem Padrão em Placas (CPP). Foi utilizado o meio de cultura seletivo, com a seguinte composição: extrato de carne, peptona, nitrato de potássio (KNO₃), ágar-ágar e água destilada (Figura 12) (FADDIN, 1980).

Figura 12 – Componentes utilizados para preparação do meio de cultura para bactérias nitrificantes.

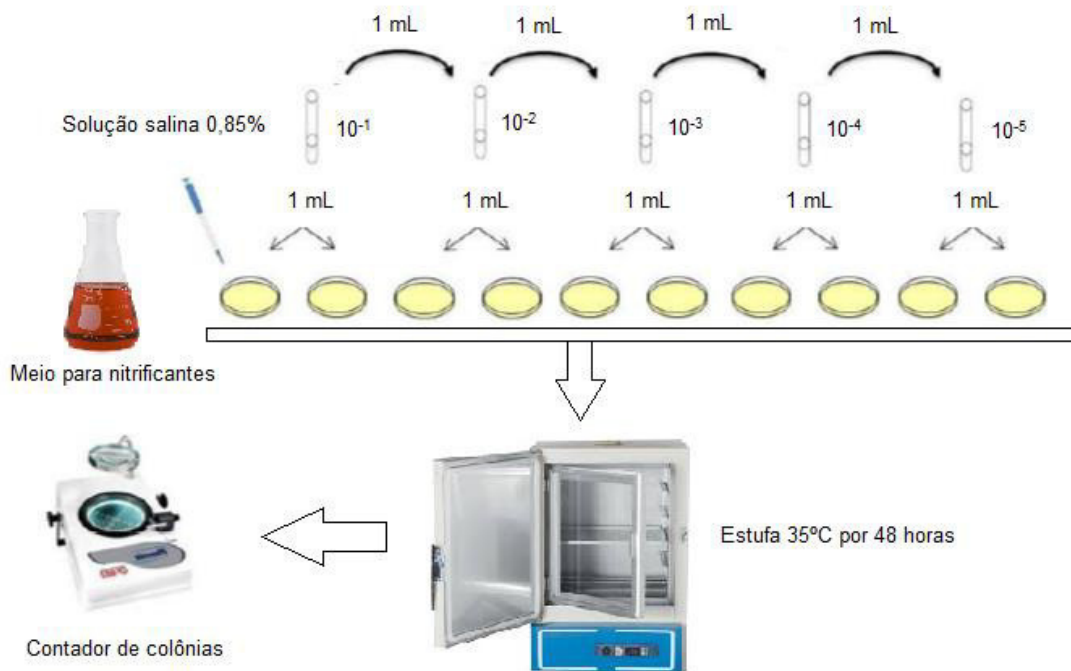


Fonte: o Autor.

O meio foi esterilizado em autoclave por 15 minutos a uma temperatura de 121 °C. Em seguida, foram realizadas diluições seriadas das amostras (10^{-1} a 10^{-5}) em solução salina a 0,85% de NaCl. Com o auxílio de uma pipeta de 1 mL, foram retiradas alíquotas das diluições, e em seguida transferidas para placas de Petri. Ao passo que se realizavam as inoculações, foram acrescentando aproximadamente 15 mL do meio de cultura, e as homogeneizando realizando-se movimentos em “oito”. Para uma maior segurança, foram realizadas análises em duplicata (VIEIRA, 2004).

Após a inoculação e homogeneização, foi utilizada a mesma metodologia aplicada às bactérias heterotróficas totais.

Figura 13 – Esquema utilizado para preparo e determinação do número de UFC das bactérias do grupo das nitrificantes presentes nos MS avaliados.



Fonte: o Autor.

3.8 Análise Estatística

A metodologia aplicada para avaliação dos resultados obtidos foi a estatística descritiva. A aplicação desse processo avaliativo visa descrever e sumarizar os dados encontrados, de modo a permitir a melhor interpretação e avaliação dos resultados encontrados por meio de medidas de tendência central e medidas de dispersão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Meio de Suporte Comercial

4.1.1 Parâmetros Físicos e Químicos

Os valores obtidos com as análises físico-químicas realizadas para o MS comercial estão apresentados na Tabela 2, de acordo com a média aritmética dos valores obtidos nas duas repetições.

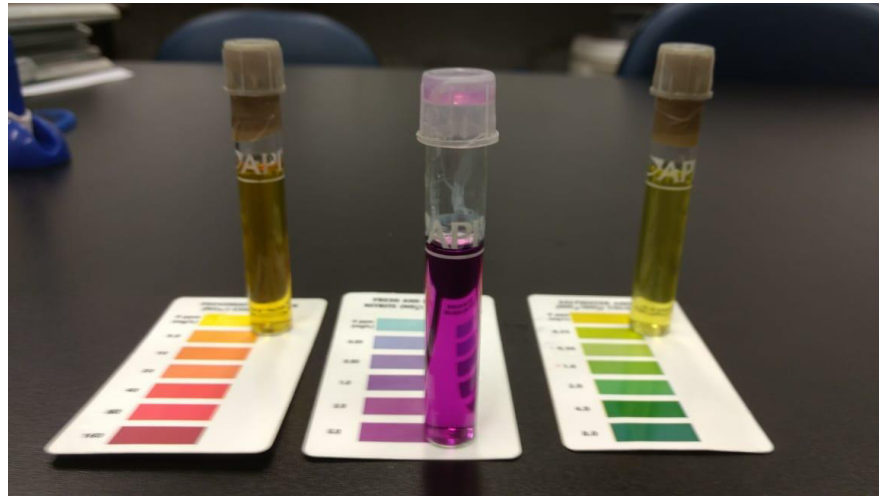
Na avaliação com o MS comercial, as variações observadas durante o período experimental para os parâmetros aquáticos como pH (8,7 a 7,1), OD (4,5 a 3,3 mg/L) e temperatura (24 a 25 °C), apresentaram comportamento correspondente ao tipo de ambiente analisado, porém mantendo-se dentro dos limites de conforto da espécie, não ocasionando influência no desempenho dos peixes (KUBITZA, 2003).

Com a fertilização do sistema no início da análise experimental, pode-se observar que a concentração do NAT (Figura 14) se encontram bastante elevados (4,0 - 8,0 mg/L). Após isso, essa concentração tende a decair, elevando-se logo em seguida as concentrações de nitrito, e posteriormente, as de nitrato. Segundo Tundisi (2008), tal sucessão é decorrente do processo de oxidação dos compostos nitrogenados por bactérias quimiossintetizantes autotróficas e heterotróficas.

Tabela 2 - Parâmetros físicos e químicos médios obtidos a partir de análises colorimétricas e sondas eletrônicas realizadas durante o teste com MS comercial.

Dias de cultivo	Temp. (°C)	pH	O.D (mg/L)	NH ₃ /NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)
1	26 (±1)	8,7	4,5	6,0	Zero	Zero
4	25 (±1)	8,8	4,5	6,0	Zero	Zero
7	25 (±1)	8,5	4,4	6,0	0,75	Zero
10	25 (±1)	8,6	4,5	4,0	0,75	2,5
13	25 (±1)	8,5	4,3	4,0	3,5	10
16	25 (±1)	8,6	4,3	3,0	3,5	15
19	25 (±1)	8,4	4,2	3,0	5,0	15
22	25 (±1)	8,3	4,1	1,5	3,5	15
25	24 (±1)	8,1	4,2	0,75	1,5	30
28	25 (±1)	8,0	4,2	0,5	1,0	30
31	25 (±1)	7,6	4,1	0,35	0,75	60
34	25 (±1)	7,5	4,1	0,5	1,5	60
37	25 (±1)	7,5	4,0	0,75	0,75	80
40	26 (±1)	7,4	3,9	0,5	0,35	80
43	26 (±1)	7,6	3,9	0,35	0,5	80
46	25 (±1)	7,4	3,8	0,25	0,5	120
49	25 (±1)	7,4	3,8	0,25	0,35	120
52	25 (±1)	7,4	3,7	0,35	0,5	120
55	25 (±1)	7,3	3,5	0,5	0,35	120
56	25 (±1)	7,1	3,3	0,35	0,5	120

Figura 14 – Teste colorimétrico para determinação da concentração de compostos nitrogenados após a fertilização do sistema de cultivo.



Fonte: o Autor.

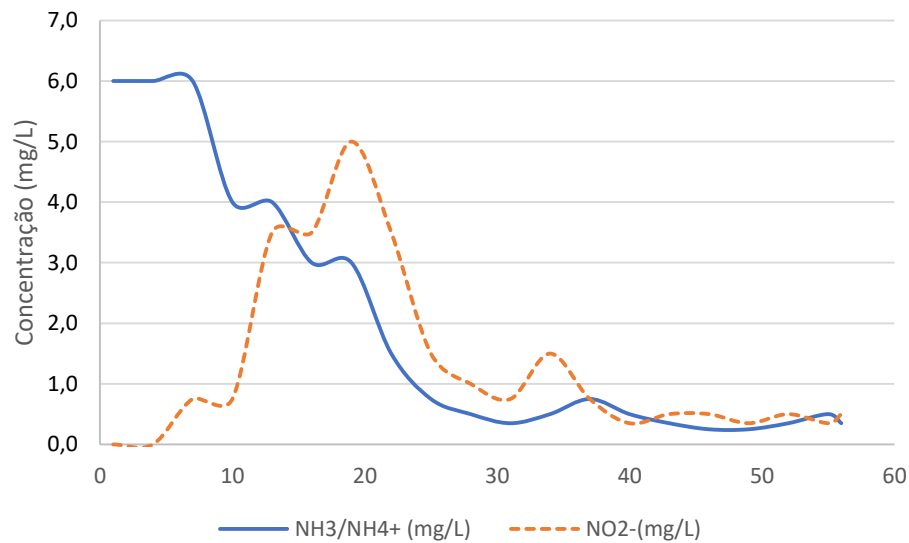
O comportamento dos compostos nitrogenados analisados frente aos parâmetros ambientais é justificado devido a ocorrência de reações bioquímicas oxidativas, onde a atividade bacteriana reduz o NAT por meio dos processos de nitrificação. Nesse processo, o NH_3 é transformado em NO_2 e NO_3 , proporcionado por bactérias do gênero *Nitrosomona* e *Nitrobacter* (SÁ, 2012).

Devido ao fato da amônia e nitrito serem tóxicos aos animais, e o nitrato não apresentar praticamente nenhum problema ao ambiente em concentrações inferiores a 300 mg/L, pode-se dizer que o processo de nitrificação purifica a água de cultivo, pelo fato de remover do meio substâncias com elevado potencial de toxicidade (SÁ, 2012).

Em contrapartida, como foi possível observar no decorrer das análises realizadas, o processo de nitrificação ocasionou uma queda na concentração de OD e uma gradativa acidificação da água de cultivo, uma vez que o processo de nitrificação demanda uma grande quantidade de oxigênio para realização da oxidação amoniacal. Já o processo de acidificação ocorre devido a liberação de íons H^+ durante o processo de transformação do NH_3 para NO_2 (KUBITZA, 2003).

As flutuações das concentrações dos compostos nitrogenados podem ser melhor observadas na Figura 15. Após a fertilização do sistema com ureia até a obtenção da concentração de 5 mg/L de amônia, foi possível observar uma redução da concentração amoniacal nos primeiros 28 dias, com o posterior aumento das concentrações de nitrito seguida de sua estabilização.

Figura 15 – Variação do NAT e do nitrito frente às condições de maturação e cultivo utilizando MS comercial como substrato biológico.



A seguir, na Figura 16 é possível observar o aumento da concentração de nitrato, com o decorrer do experimento. Devido a ausência de sumidouros de nitrato no ambiente de cultivo, temos um acúmulo do mesmo no meio, porém, devido a sua baixa toxicidade, não foi associado ao mesmo, nenhuma influência nos resultados obtidos. Na Figura 17 é possível observar o comportamento dos parâmetros ambientais, que devidos às reações de degradação dos compostos nitrogenados, são consumidos com o decorrer do cultivo.

Figura 16 – Variação do nitrato frente às condições de maturação e cultivo utilizando MS comercial como substrato biológico.

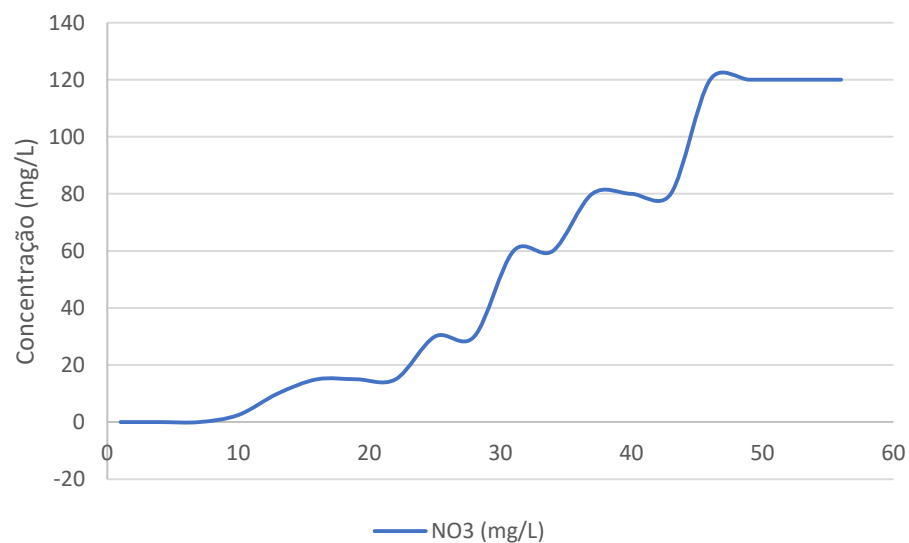
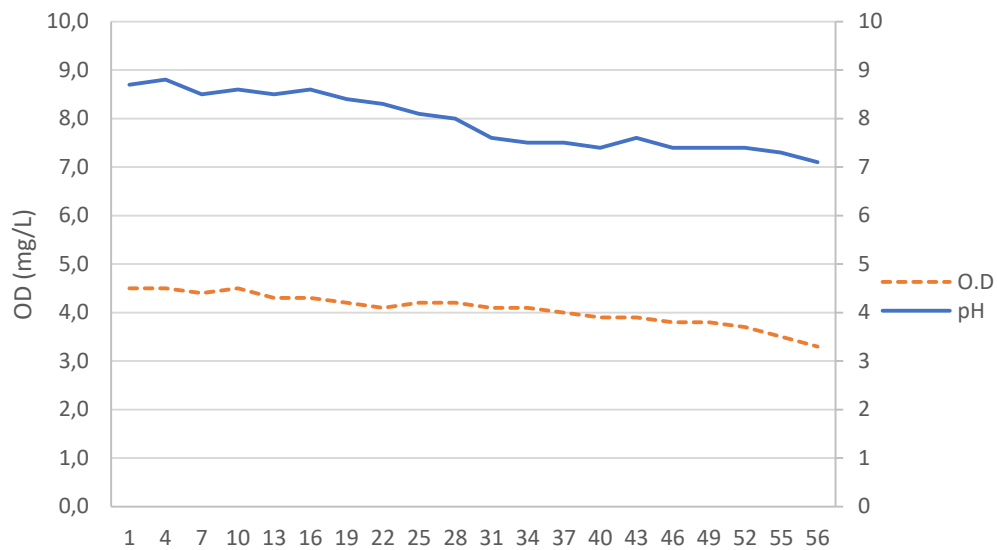


Figura 17 – Variação do oxigênio dissolvido (OD) e do pH, frente às condições de maturação e cultivo utilizando MS comercial como substrato biológico.



É possível observar nos gráficos apresentados que, com o desenvolvimento e maturação do sistema biológicos, a oxidação do NAT provocou queda na concentração do oxigênio e do pH devido aos processos oxidativos de síntese biológica do sistema. Quando há o desordenamento da produção dos compostos nitrogenados, é possível observar efeitos deletérios na qualidade da água e nos animais cultivados (LEIRA *et al.*, 2017).

Mesmo apresentando maior custo para aquisição, o MS comercial apresenta melhor relação custo-benefício, quando comparado às tampas de garrafa PET. Por apresentar uma maior área superficial específica e uma maior capacidade de percolação do efluente, torna-se menor o volume necessário para o sistema de filtragem. Entretanto, o fator mais determinante para a aplicação do substrato comercial é a sua eficiência oxidativa superior, que proporciona maior estabilidade para o cultivo.

Diante dos resultados obtidos durante o período em análise, e de acordo com os dados de literatura já aqui apresentados, é possível dizer que, para o sistema utilizando MS comercial como material de fixação biológico, as variáveis limnológicas monitoradas se mantiveram dentro do recomendado para a espécie em questão, *Oreochromis niloticus*.

4.2 Tampa de Garrafa PET

4.2.1 Parâmetros Físicos e Químicos

Os valores obtidos com as análises físico-químicas realizadas para o teste com tampas de garrafa PET estão apresentados na Tabela 3, de acordo com a média aritmética dos valores obtidos nas duas repetições.

Tabela 3 – Parâmetros físicos e químicos obtidos a partir de análises colorimétricas e sondas eletrônicas realizadas durante o teste com tampa de garrafa PET.

Dias de cultivo	Temp. (°C)	pH	O.D (mg/L)	NH ₃ /NH ₄ ⁺ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)
1	24 (±1)	8,6	4,9	4,0 – 8,0	0	0
4	24 (±1)	8,6	4,9	4,0 – 8,0	0	0
7	25 (±1)	8,5	4,8	4,0 – 8,0	0	0
10	25 (±1)	8,4	4,5	4,0 – 8,0	0,25	0
13	25 (±1)	8,4	4,5	4,0	0,25	0 – 5,0
16	27 (±1)	8,1	4,4	4,0	0,25 – 0,5	5,0
19	27 (±1)	8,1	4,5	2,0 – 4,0	0,25 – 0,5	5,0
22	26 (±1)	8,2	4,4	2,0 – 4,0	0,5	5,0 – 10,0
25	25 (±1)	8,2	4,4	1,0 – 2,0	1,0	10,0
28	25 (±1)	8,0	4,4	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0	10,0
31	25 (±1)	7,9	4,2	0,5 – 1,0	1,0	10,0 – 20,0
34	25 (±1)	7,9	3,9	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	20,0
37	25 (±1)	7,9	3,6	4,0	2,0 – 5,0	20,0 – 40,0
40	26 (±1)	7,8	3,3	4,0 – 8,0	2,0 – 5,0	20,0 – 40,0

Para que ocorra um bom funcionamento do sistema, no referente ao acondicionamento do efluente aquícola, faz-se necessário não apenas superfície de contato para fixação biológica. Para ser considerado um bom substrato para fixação biológica, o MS deve apresentar algumas características a fim de garantir o equilíbrio bioquímico do mesmo.

Segundo Jordão e Pessoa (1995), um bom meio filtrante deve permitir uma boa percolação do efluente, assim como uma boa condição para passagem e

homogeneização de oxigênio pelas camadas do filtro. O não cumprimento dessas exigências, configura uma ineficiência no processo de tratamento do efluente.

Pelo fato do sistema não ter sido capaz de degradar os compostos nitrogenados com eficiência, tanto durante o período de maturação biológica (28 primeiros dias) como principalmente após o povoamento do cultivo, na primeira semana após o povoamento ocorreu a mortalidade total dos animais.

A partir do terceiro dia de povoamento, observa-se o início da elevação do NAT, assim como o aumento das concentrações de nitrito, podendo ser melhor observados na Figura 18. Devido a elevada toxicidade desses compostos nitrogenados, e pelo fato dos parâmetros ambientais terem se mantidos dentro das faixas toleráveis (Figura 19), foi associado aos mesmos, a causa da mortalidade ocorrida no sistema.

Figura 18 – Variação do NAT e do nitrito frente às condições de maturação e cultivo utilizando tampa de garrafa PET como substrato biológico.

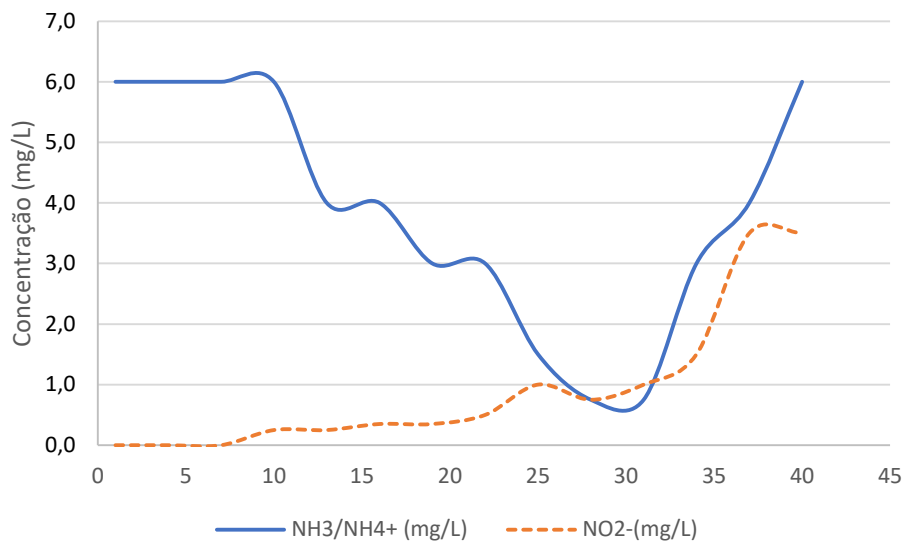
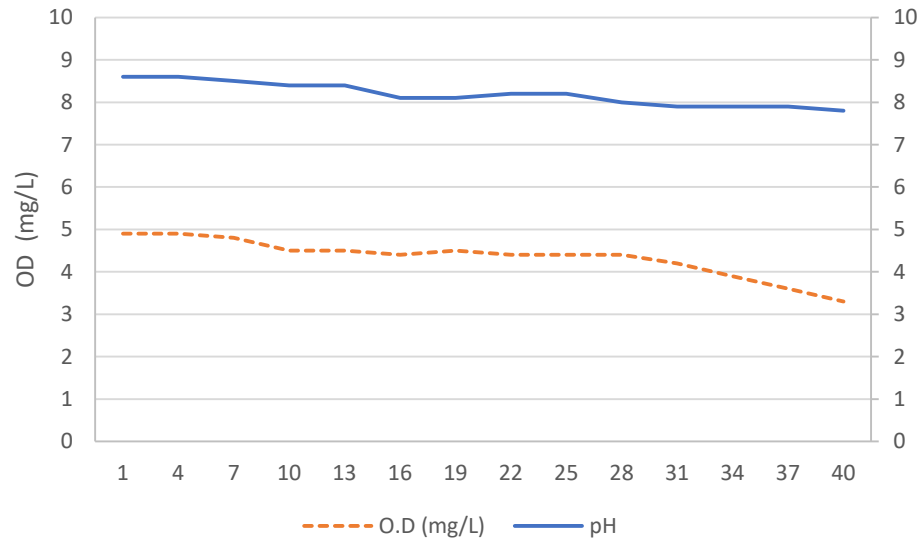


Figura 19 – Variação do oxigênio dissolvido (OD) e do pH, frente às condições de maturação e cultivo utilizando tampa de garrafa PET como substrato biológico.



Quando em elevadas concentrações no ambiente de cultivo, a amônia é capaz de provocar uma série de problemas ao meio. Aos peixes, o excesso de amônia dificulta a excreção da amônia presente no sangue dos animais para o meio externo, pelo fato desse processo ocorrer por difusão, do meio mais concentrado para o meio menos concentrado, através das brânquias. Tal fato provoca aos animais cultivados, disfunções generalizadas no metabolismo oxidativo celular e neurológicas (SÁ, 2012).

Paralelamente aos problemas ocasionados ao ambiente de cultivo pela elevada concentração do nitrogênio amoniacal, foi observado também, após o povoamento do sistema, a elevação das concentrações de nitrito. Assim como a amônia, elevadas concentrações de nitrito podem provocar grandes problemas aos animais do cultivo. Segundo Kubitzka (2003), concentrações subletais de nitrito (0,3 a 0,5 mg/L) podem afetar o desenvolvimento e imunidade dos animais cultivados. A exposição a concentrações bastante elevadas (acima de 0,5 mg/L) podem causar grandes mortandades na produção.

Diante dos resultados obtidos durante o período em análise, e tendo em vista a perda totalitária dos animais em teste, e de acordo com os dados de literatura já aqui apresentados, é possível dizer que, para o sistema utilizando tampas de garrafa PET como material de fixação biológico não foi capaz de manter níveis de compostos nitrogenados toleráveis para o cultivo da espécie em questão, *Oreochromis niloticus*.

Logo nos primeiros dias após o povoamento, foi possível observar a acumulação excessiva de matéria orgânica no substrato biológico, assim como a baixa homogeneização do efluente na unidade de tratamento.

4.2.2 Alimentação e Desempenho Zootécnico

O alimento fornecido para cada estágio de desenvolvimento dos animais de cultivo, devem ser correspondentes ao tamanho, peso, exigências nutricionais e hábito alimentar da espécie cultivada. A escolha de um alimento de qualidade e com uma correspondência ideal para o tipo de espécie cultivada gera impactos diretos tanto na produção quanto na qualidade da água. Um alimento de qualidade permite explorar o máximo potencial de crescimento dos peixes, proporcionando também uma boa qualidade imunológica, o que gera consequências diretas na receita líquida da produção. Rações de boa qualidade promovem também pequenos impactos ao ambiente de cultivo (KUBTIZA, 2000)

Trombeta, Mattos e Sallum (2011), citam que o arraçoamento se baseia no ato de fornecer ração artificial para os animais cultivados, a fim de suprir suas necessidades nutricionais de modo a garantir um bom desenvolvimento dos mesmos. Pelo fato do cultivo ocorrer em um ambiente com baixa produtividade primária, a única fonte de alimento para os animais foi a fornecida artificialmente

Os peixes foram arraçados duas vezes ao dia, uma no período da manhã e outra pela tarde, com ração comercial extrusada contendo 32% de proteína bruta. Durante todo o experimento, foi aplicada uma taxa de arraçoamento de 12% do peso vivo, onde a cada sete dias eram realizadas biometrias para ajuste da quantidade de ração ofertada. A Tabela 4 apresenta os resultados zootécnicos obtidos durante o período experimental.

Tabela 4 – Desempenho zootécnico dos animais cultivados em sistema de recirculação de água utilizando MS comercial como substrato biológico.

Variáveis	Meio suporte comercial
Peso médio inicial (g)	0,76 ± 0,26
Comprimento médio total inicial (cm)	3,37 ± 0,42
Sobrevivência (%)	87,5
Ganho em peso (g . dia ⁻¹)	0,14
Ganho em peso (g em 28 dias ⁻¹)	5,03 ± 1,26
Taxa de crescimento específico do peso (%)	6,43
Ganho em comprimento (mm dia ⁻¹)	0,08
Taxa de crescimento específico do comprimento (%)	1,93
Peso médio 28 dias (g)	4,60 ± 1,53
Comprimento médio 28 dias (cm)	5,79 ± 1,00
Biomassa inicial (g)	40,26
Biomassa final (g)	225,63
Conversão alimentar	2,82

Concluído os 28 dias de cultivo, os valores médios obtidos para o ganho de peso dos animais cultivados foi de 4,60, com um ganho diário entre e 0,18 g. Nascimento Filho (2017), em seu trabalho avaliando os efeitos da densidade de estocagem na produção de alevinos de tilápia, mantidos em um sistema de recirculação, obteve ao final de 38 dias, uma taxa de crescimento específico do peso de 7,49%, valor esse muito semelhante ao obtido no presente trabalho.

Analisando a taxa de crescimento específico, constatou-se que os animais cresceram em média mais em peso (6,43%) do que em comprimento total (1,86%). Também em seu estudo, Nascimento-Filho (2017) obteve taxas de crescimento específico do comprimento em torno de 2,27%.

Merengoni *et al.* (2008), avaliando o desempenho produtivo de juvenis de tilápia do Nilo cultivados durante 84 dias, em viveiro escavado e sem renovação de água, obteve taxas de sobrevivência inferiores ao apresentado no presente estudo (87,65%), para as densidades de 1 (59,15%); 2 (58,37%); 3 (72,05%) e 4 (53,56%) peixes/m².

4.3 Análise Microbiológica

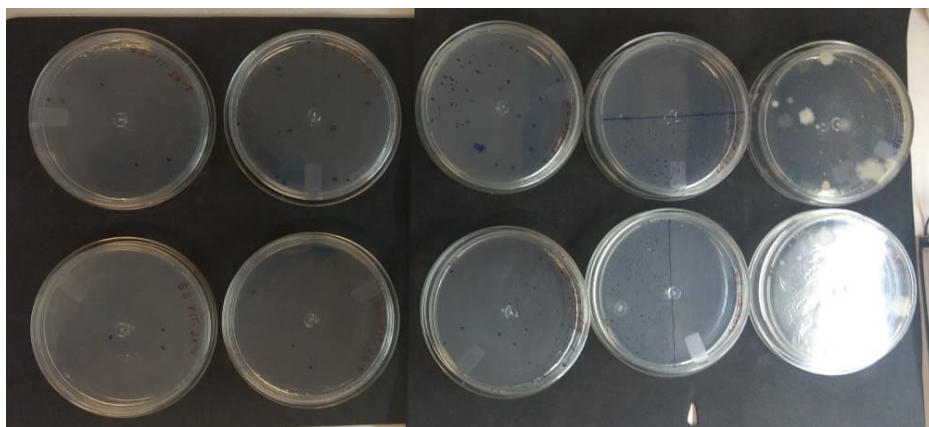
Os resultados das Contagens Padrão em Placas (CPP) das bactérias heterotróficas (BHC) e nitrificantes, expressos em Unidades Formadoras de Colônias (UFC).cm⁻², contidos nos substratos biológicos avaliados estão discriminados na Tabela 5 (VIEIRA, 2004).

Tabela 5 – Resultado das Contagens Padrão em Placas, realizadas em duplicata, para quantificação de bactérias heterotróficas e nitrificantes em diferentes substratos.

Dias de cultivo	Meio suporte comercial (UFC/cm ²)		Tampa de garrafa PET (UFC/cm ²)	
	Heterotróficas	Nitrificantes	Heterotróficas	Nitrificantes
Zero	11	8	6	12
28	543	501	1221	1884
43	676	1190	-	-
58	992	1531	-	-

Devido ao processo sanitização realizado no início do experimento, visando a redução da carga microbiana das superfícies a serem analisadas, para os dois testes, pôde-se observar uma baixa carga bacteriológica na primeira análise. A partir daí, quantificou-se o desenvolvimento do sistema durante o período experimental (Figura 20).

Figura 20 – Análise para quantificação da carga bacteriológica inicial do substrato biológico de tampa de garrafa PET.

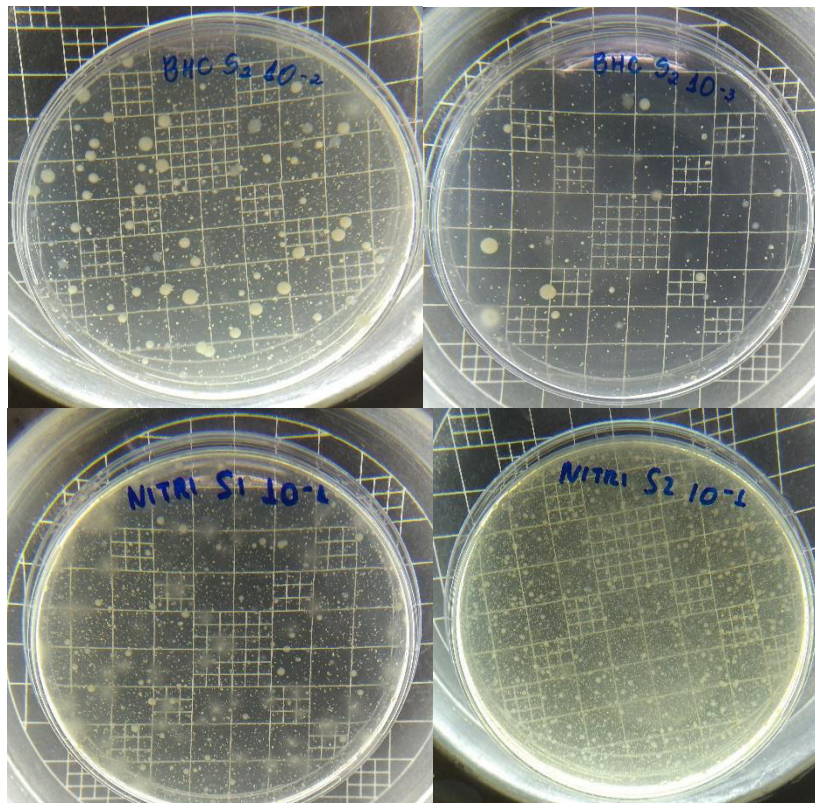


Fonte: o Autor .

No sistema contendo tampas de garrafa PET, observou-se a ocorrência da mortalidade súbita de toda a população de peixes, fato esse associado ao acúmulo excessivo de compostos nitrogenados tóxicos aos animais. Kubitzka (2006), em seu estudo avaliando o funcionamento de sistemas de cultivo em recirculação de água, aborda a importância do dimensionamento adequado desses sistemas, de modo que a nitrificação ocorra a taxas superiores ou no mínimo iguais à taxa de produção amoniacal no sistema. Nesse mesmo estudo, o autor afirma a importância do meio suporte ideal para compor os sistemas biológicos, levando em consideração, principalmente sua área superficial específica disponível para fixação biológica.

Apesar das tampas de garrafa PET apresentarem área superficial específica capaz de proporcionar o desenvolvimento do biofilme (Figura 21), quando expostas a condições de cultivo, com um aumento da concentração das cargas orgânicas, as mesmas se mostraram ineficientes na realização do controle do nível dos compostos nitrogenados. Pôde-se observar, em análises visuais realizadas, grande acúmulo de matéria orgânica no interior das tampas, bem como a má percolação do efluente pelos interstícios da mídia.

Figura 21 – Análise para quantificação da carga bacteriológica após 28 dias do substrato biológico de tampa de garrafa PET.



Fonte: O autor.

Oliveira (2009), analisando a concentração e o desenvolvimento de bactérias autotróficas e heterotróficas e seu potencial de remoção de nitrogênio oriundo de um aterro sanitário, observou grande desenvolvimento desses organismos, e sua gradual maturação no decorrer do estudo. Nesse trabalho, foi possível constatar uma relação direta entre: características ideais da mídia biológica e manutenção de condições propícias ao desenvolvimento da massa biológica.

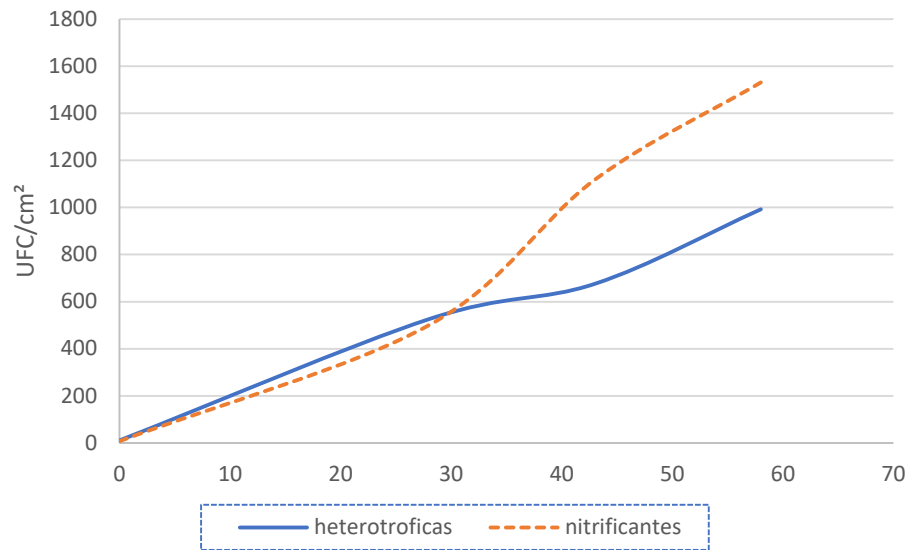
Kubitza (2006) afirma que biofiltros avaliados em sistemas de recirculação de água com peixes, são capazes de remover de 0,2 a 0,6 g de amônia.m⁻² de área de contato do meio suporte. Levando em consideração tal referência, pode-se afirmar que, para o sistema contendo MS comercial, com 8,2256 m² de meio suporte para fixação biológica, se poderia tratar até 4,96 g de amônia/dia.

Desse mesmo modo, para o sistema com tampas de garrafa PET, com 8,227 m² de meio suporte para fixação biológica, se poderia tratar até 4,93 g de amônia/dia. Em tese, os dois meios suportes apresentam o mesmo potencial oxidativo do NAT, quando comparadas suas áreas superficiais específicas. Tendo em vista que o máximo de ração diária introduzida no sistema com MS comercial foi de 12,57 ± 1,64, e que a quantidade de amônia gerada pelo alimento fornecido é de aproximadamente 0,4 g/dia, o sistema biológico apresentava-se em condição superdimensionada. Do mesmo modo, o sistema contendo tampas de garrafa PET apresentava-se em igual condição.

Com isso, pode-se chegar a deduzir que, em condições idênticas, com áreas superficiais específicas disponíveis para colonização bacteriológica suficiente para o tratamento do efluente aquícola, o fator determinante para a máxima eficiente do sistema será o design do meio suporte adotado (JORDÃO; PESSOA, 1995).

Observou-se também que, em ambos os testes ocorreu o desenvolvimento dos organismos autotróficos e heterotróficos nos substratos avaliados, como se pode verificar na Figura 22.

Figura 22 – Desenvolvimento bacteriológico do MS comercial, durante o período experimental.



Nos cultivos com recirculação de água, o processo de remoção do nitrogênio amoniacal ocorre por meio de um conjunto de organismos autotróficos e heterotróficos que durante o cultivo, apresentam taxas de crescimento diferentes. Devido ao lento desenvolvimento dos organismos nitrificantes, é possível observar sua predominância frente aos organismos heterotróficos. Devido a limitação das fontes de carbono no sistema, bem como à competição por substrato entre os grupos bacterianos, pode-se observar com o decorrer do experimento, o maior crescimento das bactérias nitrificantes (LARA, 2012).

Devido à complexidade que constitui os ambientes de cultivo, se torna bastante difícil manter o total controle sobre as comunidades bacterianas e suas interações com o meio, o que pode gerar distúrbios nas vias de remoção dos compostos nitrogenados (LARA, 2012).

5 CONCLUSÃO

Os resultados com os meios de suporte testados, no cultivo de alevinos de tilápia em sistema de recirculação de água, mostraram que:

- ✓ o emprego de unidades de tratamento biológico para a piscicultura é viável, tanto devido ao condicionamento da água de cultivo, como também pelo fato da minimização da necessidade de renovação de água;
- ✓ ambos os substratos biológicos testados apresentaram capacidade de fixação biológica, assim como potencial oxidativo dos compostos nitrogenados. Entretanto, o MS comercial apresentou maior eficiência oxidativa, frente às tampas de garrafa PET. Com isso, pode-se concluir que a qualidade filtrante dos meios de suporte testada foi determinada de acordo com seu design e eficácia de percolação do efluente aquícola;
- ✓ mesmo apresentando aproximadamente mesma área superficial para fixação biológica, o teste com tampas de garrafa PET não foi capaz de manter os níveis de compostos nitrogenados, o que ocasionou a mortalidade absoluta dos peixes avaliados;
- ✓ no sistema utilizando MS comercial, os parâmetros físicos, químicos e ambientais apresentaram comportamento estável, com valores dentro do tolerável para a espécie em questão. Ainda, o desempenho zootécnico apresentou resultados significativos, com taxas de crescimento e índices de mortalidade dentro do esperado.

REFERÊNCIAS

- APIFISHCARE. **Testes colorimétricos para qualidade de água**. 2018. Disponível em: <www.apifishcare.com>. Acesso em: 22 abr. 2018.
- ASSAD, L.T.; BURSZTYN, M. **Aquicultura sustentável**. 2000. Brasília: Repositório Institucional da UnB, 38 p.
- AZEVEDO, V.G. **Sistema de recirculação para o cultivo de peixes marinhos – Procedimento Operacional Padrão (POP)**. São Paulo: Instituto de Pesca, 2014.
- BELLONI, D.F. **Desempenho de um filtro biológico aerado submerso utilizando como meio suporte tampas de garrafas PET**. 2011. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de Maringá, Maringá, 2011.
- BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Recomendações práticas para melhorar a qualidade da água e dos efluentes dos viveiros de aquicultura**. Jaguariúna/SP: EMBRAPA. Circular Técnica 12, 2006. 14 p.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas – ANA. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil 2012**. Brasília: ANA, 2012. 264 p.
- BRAZ FILHO, M.S.P. **Qualidade na Produção de Peixes em Sistema de Recirculação de Água**. 2000. 41 f. Monografia (Especialização em qualidade nas empresas) - Centro Universitário Nove de Julho, São Paulo, 2000.
- COLARES, B.R.F. **Avaliação do desempenho de um filtro biológico aerado submerso utilizando diferentes meios suporte**. 2017. 42 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Pesca) – Departamento de Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed, Rio de Janeiro: Interciência. 2011. 826 p
- FADDIN, J.F.M. **Biochemical tests for identification of medical bacteria**. 2. ed. Michigan: Williams and Wilkins Co., 1980. 552 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2016**. Rome: FAO 2016. 200 p.
- JORDÃO, E.P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: Abes, 1995. 720 p.
- KAPPES, C.; ZANCANARO, L.; JESUS, F.V. **Doses de nitrogênio, via ureia e nitrato de amônio, em cobertura no milho safrinha em sucessão à soja**. 2013. Publicado no XII Seminário Nacional Milho Safrinha: estabilidade e produtividade. Disponível: <<http://www.cpao.embrapa.br/cds/milhosafrrinha2013/trabfert2.html>>. Acesso em: 10 fev. 2018.

KUBITZA, F. Qualidade de água na produção de peixes – parte 3. **Panorama da aquicultura**, v.8, n. 47, p. 35-43, 1998.

KUBITZA, F. **Qualidade no cultivo de peixes e camarões**. Jundiaí: F. Kubitza Ed., 2003. 208 p.

KUBITZA, F. Sistemas de recirculação: sistema fechado com tratamento e reuso de água. **Panorama da aquicultura**, v.16, n. 95, p. 15-22, 2006.

LARA, G. R. **Técnicas de manejo aplicada à redução das concentrações de nitrito na água de cultivo de *Litopenaeus vannamei* em sistema de bioflocos**. 2012. 71 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2012.

LEIRA, M. H. *et al.* Qualidade de água e seu uso em piscicultura. **PUBVET: medicina veterinária e zootecnia**, v.11, n.1, p.11-17, 2017

LIMA, E. C. R. *et al.* Cultivo da tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus*, em sistema de bioflocos com diferentes densidades de estocagem. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.16, n.4, p. 948-957, 2015.

MERENGONI, N. G. *et al.* **Desempenho produtivo e viabilidade econômica de juvenis de tilápia do Nilo cultivados na região oeste do Paraná sob diferentes densidades de estocagem**. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, v.9, n.2, p. 341-349, 2008.

MACEDO, C.F.; SIPAUBA-TAVARES, L.H. Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações. **Boletim do Instituto de Pesca**. São Paulo, v. 36, n. 2, p. 149-163, 2010.

MARTINS, C.I.M. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. **Aquacultural Engineering**, v. 43, n. 3, p. 83-93, 2010.

NASCENTES, A. L. **Avaliação da eficiência de sistema de tratamento de esgotos do tipo manta de lodo – filtro biológico aeróbio, aplicado em escala piloto**. 2004. 52 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento e Saúde Ambiental) – Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, 2004.

NASCIMENTO-FILHO, K. P. **Efeito da densidade de estocagem na produção de alevinos de tilápia (*Oreochromis niloticus*), mantidas em sistema de recirculação**. Monografia (Graduação em Engenharia de Pesca) – Departamento de Engenharia de Pesca. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

OLIVEIRA, R.C. O panorama da aquicultura no Brasil: prática com foco na sustentabilidade. **Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade**. v. 2, p.71-89, São Paulo, 2009

REBOUÇAS, A. R. **Monitoramento da microbiota bacteriana da água em um sistema fechado de cultivo em uma estação de piscicultura marinha.** 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

SÁ, M.V.C. **Limnocultura:** limnologia para aquicultura. Fortaleza. Edições UFC, 2012. 218 p.

SANTOS, A.S.P. **Avaliação de desempenho de um filtro percolado em diferentes meios suporte plásticos.** 2005. 81 p. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SILVA, J.W.B. **Tilápias: biologia e cultivo:** evolução, situação atual e perspectivas da tilapicultura no Nordeste brasileiro. Fortaleza: Edições UFC, 2009. 326 p.

TROMBETA, T.D.; MATTOS, B.O.; SALLUM, W.B. **Manual de criação de peixes em tanque-rede.** Brasília: CODEVASF, 2011. 69 p.

TUNDISI, J.G. **Limnologia.** São Paulo: Oficina de textos, 2008. 626 p.

VIEIRA, R.H.S.F. **Microbiologia, higiene e qualidade do pescado:** teoria e prática. São Paulo: Livraria Varela, 200. 2004. 380 p.

ZIMMERMANN, S.; FITZSIMMONS, K. **Tilapicultura intensiva.** Tópicos Especiais em Piscicultura de Água Doce Tropical Intensiva. São Paulo, 2004. 53 p.