



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA



MARCUS YURI MARINHO DE SÁ

**CONTRIBUIÇÃO PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PROVENIENTE
DO CULTIVO DE TILÁPIAS EM PEQUENOS TANQUES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Maceió- AL
2021

MARCUS YURI MARINHO DE SÁ

**CONTRIBUIÇÃO PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PROVENIENTE
DO CULTIVO DE TILÁPIAS EM PEQUENOS TANQUES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Professor Doutor Marcio Gomes Barboza

Maceió – AL


2021




Ata de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso


Ao(s) 27 dias(s) do mês de SETEMBRO de 2021 realizou-se às 14h00min, por meio de vídeoconferência, a defesa do **Trabalho de Conclusão de Curso** do(a) discente **Marcus Yuri Marinho de Sá** intitulado “CONTRIBUIÇÃO PARA A MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PROVENIENTE DO CULTIVO DE TILÁPIAS EM PEQUENOS TANQUES”. A Banca Examinadora foi constituída por Marcio Gomes Barboza (Orientador(a)), Karina Ribeiro Salomon e Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira. Após a apresentação do(a) discente pelo(a) orientador(a), o(a) mesmo(a) expôs seu trabalho, sendo, logo a seguir, arguido(a) pelos componentes da Banca Examinadora. O Trabalho de Conclusão de Curso obteve as seguintes notas de cada um dos avaliadores: Karina Ribeiro Salomon (9,0) e Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira (9,0), resultando numa média (9,0). Os registros de notas e de solicitação de correções estão documentados nos formulários de notas e de correções, respectivamente, preenchidos pelos avaliadores. E, para constar, foi lavrada a presente ata que vai assinada pelos componentes da Banca Examinadora.

Maceió, 27 de setembro de 2021.

Documento assinado digitalmente
 Marcio Gomes Barboza
Data: 07/10/2021 16:03:06-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Documento assinado digitalmente
 Karina Ribeiro Salomon
Data: 28/09/2021 11:49:21-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Karina Ribeiro Salomon
(CTEC/UFAL)

Documento assinado digitalmente
 Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira
Data: 28/09/2021 12:59:53-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Ivete Vasconcelos Lopes Ferreira
(CTEC/UFAL)

“A persistência é o menor caminho do êxito”

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, que me deu força para concluir esta etapa de minha vida e que sem ele nada disso seria possível. Agradeço por ter me abençoado durante todos os dias dessa caminhada.

Em segundo, agradeço de forma incondicional por tudo que meu pai Marcio, minha mãe Veriana, meus irmãos Marcio e Vanessa, minha namorada Thayllane e meus familiares fizeram por mim ao longo dessa caminhada. Agradeço a confiança, amor, conselhos, sacrifícios e incentivos de todos.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Marcio Barboza Gomes, pelos conselhos, pelo apoio, pela paciência, pelo incentivo e principalmente pelo conhecimento. Deixo aqui minha eterna admiração e respeito pela referência que em sua área de tratamento de águas residuais.

Agradeço à composição da banca examinadora, professora Karina Ribeiro Salomon e professora Ivete Vasconcelos L. Ferreira, por toda a contribuição para meu crescimento profissional, principalmente na melhoria do trabalho, e por toda paciência e compreensão.

E por fim, agradeço muito a todos os amigos que conquistei durante essa jornada. Quero agradecer pelas brincadeiras e por todas as gargalhadas e momentos de distrações durante os momentos de descontração. As aflições vividas antes das provas, os momentos de estudo em grupo, as raivas divididas e principalmente quero agradecer por sempre estarem ao meu lado. Mas em especial gostaria de agradecer aos meus grandes amigos que sem eles tudo isso teria sido mais difícil de acontecer: Leandro Monteiro e Vitor Ribeiro, muito obrigado!

RESUMO

O consumo de pescado vem crescendo nos últimos anos e devido a esse crescimento se faz necessário o desenvolvimento de novas formas de cultivo. Atualmente a produção de pescado vem desenvolvendo formas de cultivo que reduzem significativamente o consumo de água. Além disso, também reduzem a descarga de efluentes para os corpos hídricos e permitem produzir maiores quantidades de peixes em espaços cada vez menores. O principal tipo de sistema utilizado no cultivo de peixe é o Sistema de Recirculação de Água (SRA). No SRA convencional são utilizados na etapa de tratamento: decantadores e filtro biológico, porém, também é possível observar a utilização de *wetlands* ou biofiltro plantado para remoção de compostos tóxicos para os peixes. A Tilápia do Nilo é uma espécie exótica oriunda do continente africano que chegou ao Brasil por volta da década de 70, através do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), e vem apresentando ótimo desenvolvimento no SRA. A principal problemática no cultivo de peixes é o controle dos compostos nitrogenados, principalmente a amônia. Tanto os dejetos dos peixes quanto a ração são as principais fontes de amônia e outros compostos nitrogenados no sistema. Esses compostos são tóxicos para os peixes e prejudicam o seu desenvolvimento. O objetivo desse trabalho foi avaliar as principais tecnologias utilizadas para o tratamento dos compostos nitrogenados proveniente dos efluentes dos tanques de cultivo de Tilápias que utilizam o sistema SRA, através de dados levantados na literatura, com a finalidade de contribuir para a melhoria no tratamento desses efluentes, ponderando sobre os principais aspectos ambientais e econômicos. O procedimento metodológico adotado no presente estudo baseia-se em revisão de leitura sistematizada com base na literatura técnica, nacional e internacional de dissertações, teses, revistas e livros. Foram avaliadas diversas tecnologias de tratamento, como a utilização de biofiltros com diferentes matérias utilizadas para a fixação de microrganismos, além de leitos plantados e *wetlands*. Essas tecnologias de tratamento apresentaram boas eficiências na remoção de compostos nitrogenados, porém alguns fatores se mostraram importantes para o tratamento do efluente, como por exemplo, o tempo de detenção hidráulica (TDH), tempo de maturação para o biofiltro, tipo de mídia utilizada e espécie de planta utilizada na remoção de nutrientes nas *wetlands*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Oreochromis niloticus</i>	19
Figura 2. Representação dos efeitos do fitoplânctons durante o dia	26
Figura 3. Representação esquemática de um sistema de recirculação de água	27
Figura 4. Ciclo do nitrogênio em tanques de criação de peixes	31
Figura 5. Sistema de aquaponia em escada	37
Figura 6. Capim Vetiver (A), Argila expandida (B) e Pedra brita nº 2 (C).....	39
Figura 7. Tanques de cultivo circulares com temperatura controlada em sistema de banho-maria (A), biofiltro com substrato de concha calcária (B), torre de “air lift” (C), maturação do substrato (D), substrato de concha calcária e brita (E)	43
Figura 8. Diagrama do experimento	45
Figura 9. (A) Membranas de silicone do tipo fibra oca (B) MABR após o experimento	49
Figura 10. Esquema da instalação experimental SRA-Sistema pre-desnitrificação.....	50
Figura 11. Meio de suporte NanoMidia utilizado no MBBR	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribuição entre amônia livre e íon amônio em função do pH do meio.....	24
Gráfico 2. Níveis de amônia e nitrato mensurados durante o período de criação	38
Gráfico 3. Parâmetros do ensaio B. BR - brita; BR 50 - brita com vazão a 50%; AR - argila expandida; AR 50 - argila com vazão a 50%; MIX - brita com argila expandida; MIX 50 - MIX com vazão a 50%	40
Gráfico 4. Comparativo entre OD e temperatura	46
Gráfico 5. (A) Variação da concentração de NH_3 ao longo do tempo (B) Variação da concentração de NH_3 ao longo do tempo, excluindo o pico.....	47
Gráfico 6. Concentração de nitrito ao longo do experimento.....	48
Gráfico 7. Concentração de nitrato ao longo do experimento.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de parâmetros de qualidade de água para cultivo de Tilápia em sistema de recirculação.....	21
Tabela 2. Respostas fisiológicas em diferentes faixas de temperatura.....	22
Tabela 3. Valores percentuais de amônia não ionizada para águas doces.....	24
Tabela 4. Referências para tecnologias adotadas no tratamento de efluente de tanques de piscicultura	36
Tabela 5. Valores para vazão e TDH dos diferentes sistemas.....	40
Tabela 6. Compostos nitrogenados. BR – brita com 100% vazão; BR E – efluente da brita 100% vazão; BR 50 – brita com 50% vazão; BR50 E – efluente da brita 50% vazão; AR - argila com 100% vazão; AR E – efluente da argila com 100% vazão; AR50 - argila com 50% vazão	41
Tabela 7. Parâmetros observados no 7º e 14º dia para diferentes biofiltros.....	44
Tabela 8. Valores Máximo, média, mínimo, desvio padrão e Variância do temperatura, pH e OD do sistema MBBR - SA/SC	52
Tabela 9. Valores de Concentração e Remoção de Amônia no sistema MBBR.....	52
Tabela 10. Valores de Concentração e Remoção de amônia não ionizada no sistema MBBR.....	53
Tabela 11. Valores de Concentração e Remoção do Nitrito no sistema MBBR.....	53
Tabela 12. Valores de Concentração e Remoção do Nitrato no sistema MBBR	53
Tabela 13. Matriz SWOT para decantador de coluna mais filtro MABR	54
Tabela 14. Matriz SWOT para leito plantado (wetlands).....	54
Tabela 15. Matriz SWOT para MBBR.....	55
Tabela 16. Matriz SWOT para biofiltro com mídia alternativa	55
Tabela 17. Matriz SWOT para aquaponia	56

SUMÁRIO

1INTRODUÇÃO.....	15
2OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo geral:	18
2.2Objetivos específicos:.....	18
3REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
3.1 Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	19
3.2 Fisiologia na piscicultura.....	19
3.2.1 Alimentação.....	20
3.3 Crescimento e parâmetros da água	20
3.4 Compostos nitrogenados e outros parâmetros relacionados.....	21
3.4.1 Temperatura.....	22
3.4.2 pH	23
3.4.3 Amônia e outros compostos nitrogenados.....	23
3.4.4 Disponibilidade de oxigênio	25
3.5 Tratamento da água	26
3.5.1 Sistema de Recirculação de Água	26
3.5.2 Wetlands	28
3.5.3 Aquaponia.....	29
3.6 Nitrificação	29
3.7 Desnitrificação.....	31

4METODOLOGIA.....	33
4.1 Remoção de compostos nitrogenados na criação de Tilápia do Nilo.....	34
4.2 Apresentação de melhorias e realização de novos estudos.....	34
5RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
5.1 Tecnologias adotadas pelos autores.....	35
5.2 Resultados encontrados pelos autores	37
5.2.1 Pesquisa realizada por Belintano et al. (2020)	37
5.2.2 Pesquisa realizada por Silva (2012).....	38
5.2.3 Pesquisa realizada por Duarte (2011).....	42
5.2.4 Pesquisa realizada por Freddi (2019)	44
5.2.5 Pesquisa realizada por Enriquez (2018)	49
5.3Comparativo entre os tratamentos utilizados.....	53
6CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTAS SIGLAS E ABREVIATURAS

>	maior que
<	menor que
%	Por cento
‰	Por mil (a décima parte de 1%)
B	Boro
C	Carbono
C/N	Relação Carbono/Nitrogênio
Ca	Cálcio
CH ₃ OH	Metanol
Cu	Cobre
CV	Coefficiente de variância
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DC	Decantador de Coluna
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
Fe	Ferro
g	grama
g/dia	grama/dia
H ⁺	Íon de hidrogênio
H ₂ O	Água
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato de sódio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFAS	<i>Integrated Fixed-film Activated Sludge</i>

L.s ⁻¹	Litro por segundo
m ² /m ³	metro quadrado por metro cúbico
MABR	Reator de Biofilme Aerado em Membrana
MBBR	Reator de leito móvel com biofiltro
MBBR – SA	Reator de leito móvel com biofiltro com sistema de aeração
MBBR – SC	Reator de leito móvel com biofiltro com sistema de circulação
Mg ₂ ⁺	Magnésio
mg/L	miligrama por litro
mm	milímetro
mm Hg	milímetro de Mercúrio
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
Na ⁺	Sódio
N ₂	Nitrogênio
NH ₃	Amônia (amônia não ionizada)
NH ₄ ⁺	Íon amônio (amônia ionizada)
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃	Nitrato
O ₂	Oxigênio
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial hidrogeniônico
Po	Polônio
ppm	Partes por mil

RAS	<i>Recirculating aquaculture system</i>
SND	Nitrificação e Desnitrificação Simultânea
SRA	Sistema de Recirculação de Água
T	Temperatura
TDH	Tempo de detenção hidráulica

1 INTRODUÇÃO

Tilápia é o nome dado a um dos mais importantes conjuntos de peixes cultivados ao redor do mundo, sendo todas as espécies de Tilápias de origem africana. Além disso, é o grupo que mais aumenta no comércio de pescados. A criação de Tilápias ocorre em mais de 100 países em diferentes salinidades, clima e sistemas de produção. No Brasil temos três grupos principais: Tilápia do Congo (*Tilapia rendalli*), Tilápia de Zanzibar (*Oreochromis hornorum*) e Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), sendo a última a mais relevante para o país.

Segundo Godoy (1959) a *Tilapia rendalli* foi a primeira espécie a ser introduzida no Brasil, em 1952. Braga, Chacon e Granjeiro (1970) evidenciaram que a *Tilapia rendalli* teve sua introdução realizada pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, no Nordeste do Brasil. De acordo com Lovshin (1997) e Canonico *et al.* (2005) a introdução dessas novas espécies de Tilápia tinha como objetivo alimentar as populações carentes do país.

A introdução da Tilápia no Brasil contribuiu para a diversificação e incorporação de uma nova fonte proteica na região Nordeste do Brasil. Apesar de ser uma região que enfrentava dificuldades na produção de peixes, por ser uma zona que enfrenta problemas com a seca, a espécie apresentou ótimo desenvolvimento nos açudes da região. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, em 2019 o cultivo de Tilápia apresentou o maior valor de produção, cerca de 1,84 bilhão de reais.

De acordo com o IBGE, o Brasil produziu 169 mil toneladas de Tilápia em 2013 e 323 mil toneladas em 2019. Comparando a quantidade de toneladas produzidas entre os anos de 2013 e 2019, é possível observar um aumento de aproximadamente 91% de toneladas produzidas durante esses seis anos.

O aumento da produção ocorre devido ao melhoramento genético e ao aumento da quantidade de estudos sobre o manejo da produção de Tilápias que vêm sendo realizados no Brasil. Esses estudos vêm levando em consideração as condições de produção realizadas no Brasil, apesar desse ser um dos fatores mais importantes para o sucesso da atividade no país, ainda há muito que evoluir (FRANÇA, 2019).

Segundo dados do anuário do peixe, o Brasil ocupou em 2021 a 4ª posição no ranking mundial de produtores de Tilápia, representando 60,6% (432.149 toneladas) da

produção do pescado no país. A região Sul do país lidera a produção com 44% do total (213.351 toneladas), sendo o Paraná o estado de maior destaque com cerca de 166.000 toneladas produzidas. O estado de Alagoas, no ano de 2020, chegou a produzir 7.300 toneladas de Tilápia, ocupando a 19ª posição entre os maiores produtores do Brasil.

De acordo com Kubitzka (2012), os principais gargalos enfrentados na produção de Tilápia estão relacionados ao elevado custo de produção e dificuldades no licenciamento ambiental dos cultivos. Os custos de produção são principalmente os custos com ração e energia elétrica. A região Sul do país sai em vantagem em relação ao custo com ração devido à grande quantidade de fábricas de ração presentes nessa região, reduzindo o custo no quilo da ração na região Sul.

Entretanto, os problemas com a poluição dos ambientes aquáticos podem afetar a produção do pescado tanto em termos quantitativos quanto em termos qualitativos. A poluição pode ocorrer tanto por meio da aplicação dos agrotóxicos e conseqüentemente sua lixiviação para os corpos hídricos, como também devido ao aporte de resíduos líquidos dos mais diversos tipos, entre outras formas de contaminação. Tais fatos podem ocasionar contaminação e, conseqüentemente, morte das espécies marinhas ou até mesmo inviabilizar o consumo do pescado.

A constante busca em obter novas técnicas eficientes e mais baratas para atingir parâmetros ideais de qualidade da água, sustentabilidade e a preservação dos recursos hídricos no cultivo de pescado, levando em consideração a busca por tecnologias economicamente viáveis, é indispensável para que a aquicultura se desenvolva de forma responsável.

O Sistema de Recirculação de Água, SRA, consiste num sistema utilizado para a criação de espécies aquáticas em ambientes fechados sem trocas de água, diferentemente de outras formas de cultivo que utilizam trocas constantes da água ou dispersão das excretas e restos de alimento diretamente no ambiente, como é o caso dos raceways e tanques-rede, respectivamente. O SRA é o método em que a água sai dos tanques onde estão os peixes, e vai para a etapa de tratamento, onde haverá processos físico-químicos para remoção dos compostos tóxicos e, em seguida a água retorna ao sistema com concentrações de compostos que sejam aceitáveis para o cultivo dos peixes. A quantidade de água utilizada nesse tipo de sistema é mínima, pois só há reposição da parcela que evapora dos tanques e que é eliminada juntamente com o lodo do sistema de tratamento. Porém destaca-se a necessidade de um

tratamento eficiente para remoção de compostos tóxicos para os peixes como os compostos nitrogenados (SILVA; LOSEKANN; HISANO, 2013).

Para Bombarelli, Meurer e Syperreck (2003), os resíduos do metabolismo que são excretados pelos peixes são essencialmente na forma de amônia ou ureia. Segundo Sipaúba-Tavares (1998), o nitrogênio em ambiente aquático pode ser detectado sob diferentes formas, como por exemplo: amônia, nitrito, nitrato, óxido nitroso e amoníaco. De acordo com Dinesh *et al.* (2013), o acúmulo de compostos nitrogenados, principalmente de amônia, pode aumentar a concentração dessa substância no sangue e tecidos dos peixes, esse aumento pode ocasionar a redução do desempenho do crescimento dos animais, e em concentrações mais altas pode levar à morte.

Para alcançar o crescimento sustentável da aquicultura é importante salientar a necessidade de realizar o manejo específico das áreas ao cultivo dos peixes (BUENO *et al.*, 2008). Sendo indispensável a utilização de eficientes sistemas de tratamento dos efluentes dos tanques de cultivo e o devido monitoramento e acompanhamento das condições do ambiente aquático. O monitoramento consiste na medição de vários parâmetros que indicam se água está apta para proporcionar o melhor desenvolvimento dos peixes (AYROSA *et al.*, 2006).

Existem muitos sistemas utilizados para o cultivo dos peixes, além de muitas tecnologias para o tratamento da água proveniente dos tanques. Visto que o mercado de pescado tornou-se importante para o país, existindo a necessidade de pesquisas para melhorar a qualidade da água do cultivo e potencializar a produtividade.

O presente trabalho teve como objetivo apresentar os resultados e analisar as principais tecnologias utilizadas para o tratamento dos compostos nitrogenados presentes na água proveniente dos tanques de criação de Tilápias, que utilizam o sistema SRA ou semelhantes, com foco na nitrificação e desnitrificação.

Existem muitos sistemas utilizados para o cultivo dos peixes, além de muitas tecnologias para o tratamento da água proveniente dos tanques. Visto que o mercado de pescado tornou-se importante para o país, existindo a necessidade de pesquisas para melhorar a qualidade da água do cultivo e potencializar a produtividade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Apresentar as principais tecnologias utilizadas para o tratamento dos compostos nitrogenados proveniente dos efluentes dos tanques de cultivo de Tilápias que utilizam o sistema SRA, através de dados levantados na literatura, com a finalidade de contribuir para a melhoria do cultivo, ponderando sobre os principais aspectos ambientais e econômicos.

2.2 Objetivos específicos:

- Apresentar e discutir as dificuldades encontradas pelos autores durante a realização do cultivo, no que se refere à qualidade da água;
- Apresentar as tecnologias mais utilizadas para o tratamento da água oriunda do SRA;
- Apresentar melhorias e propor realização de novos estudos para o sistema de tratamento como forma de potencializar o aumento da produção do pescado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)

A Tilápia do Nilo, *Oreochromis niloticus* (Figura 1), é uma espécie oriunda do vale do rio Nilo e com o passar do tempo se espalhou para outras regiões africanas, regiões oeste, sul e central e para os grandes lagos (MARENGONI, 1999).

Figura 1. *Oreochromis niloticus*



Fonte: World Fish Center (2011)

A introdução oficial de Tilápias do Nilo no Brasil aconteceu no início da década de 70 do século XX, por volta do ano de 1971. Essa introdução ocorreu a partir de um projeto elabora pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), onde foram introduzidos alevinos de Tilápia para povoamento dos reservatórios nordestinos, também foram introduzidas espécies nos estados de São Paulo e Minas Gerais por meio das companhias hidrelétricas (FIGUEIREDO; VALENTE, 2008).

3.2 Fisiologia na piscicultura

Em toda prática de produção, que visa à obtenção de lucro, tem como propósito alcançar o máximo de produção com o mínimo de custos, obtendo o máximo de lucro, o mesmo acontece com a piscicultura. Sendo necessário entender as necessidades da espécie para que os peixes tenham o crescimento desejado, conhecimento adequado da biologia da espécie cultivada (BALDISSEROTTO, 2009).

3.2.1 Alimentação

Segundo Manning *et al.* (2019), é imprescindível para todos os seres vivos que exista o equilíbrio entre a ingestão de alimento e a energia necessária para seu crescimento e reprodução.

Os nutrientes necessários para as funções fisiológicas dos peixes são absorvidos através da alimentação, seja a partir de alimentos naturais ou de rações comerciais. Sendo importante conhecer o tempo de esvaziamento do trato digestivo nos peixes, pois informará quando o peixe deverá se alimentar. A digestibilidade do alimento vai influenciar no esvaziamento do trato digestivo, quanto mais rápido for o esvaziamento maior será a frequência de alimento que poderá ser ingerido pelo peixe. Nas espécies que se alimentam de alimentos de alta digestibilidade, o esvaziamento gástrico ocorre de 6 a 11 horas. (ROTTA, 2003)

3.2.2 Excreção

Apenas parte dos nutrientes consumidos pelos peixes é realmente absorvido por eles, a maior parte desses nutrientes é excretada de forma sólida ou dissolvida na água. Dessa forma, a água de cultivo torna-se rica em nutrientes (RAKOCY; HARGREAVES, 1993). Para Cortez *et al.* (2009), o nutriente que apresenta maior concentração na água residual é o nitrogênio, na forma de N-orgânico, pois os peixes excretam amônia de forma contínua diretamente na água.

3.3 Crescimento e parâmetros da água

Os peixes realizam todas as suas funções vitais no ambiente aquático, são elas: alimentação, respiração, reprodução e excreção. Por isso é de grande importância conhecer os aspectos químico, físicos e biológicos da água para ter uma água de boa qualidade para o cultivo. Logo, para que os peixes tenham desenvolvimento satisfatório e a atividade seja economicamente viável é necessário controlar os parâmetros da água (OLIVEIRA, 2001).

Os parâmetros físicos de controle são: temperatura e transparência (cor, turbidez e sólidos suspensos); os parâmetros químicos são: oxigênio dissolvido, pH, N-orgânico, amônia, nitrito, nitrato e salinidade; e os parâmetros biológicos são: algas e coliformes (FERREIRA *et al.*, 2005).

A tabela 1 representa os valores de parâmetros de qualidade de água para cultivo de Tilápia em sistema de recirculação.

Tabela 1. Valores de parâmetros de qualidade de água para cultivo de Tilápia em sistema de recirculação

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
Temperatura	°C	25 a 30
Oxigênio dissolvido	mg/L	3,5 a 6
Pressão parcial de oxigênio	mm Hg	90
CO ₂	mg/L	40 a 50
Sólidos suspensos totais	mg/L	< 15
Nitrogênio amoniacal total	mg/L	< 3
Amônia NH ₃ – N	mg/L	< 0,2
Nitrito	mg/L	< 1
Cloreto	mg/L	< 200
pH		6,8 a 8,5
Dureza	mg/L	20 a 200

Fonte: Kubitzka (2011).

3.4 Compostos nitrogenados e outros parâmetros relacionados

Os restos de ração, fezes e metabólitos excretados pelos peixes acarretam no crescimento da carga de matéria orgânica presente na água. Esse aumento na concentração de matéria orgânica irá gerar uma série de efeitos, resultando no desbalanceamento do equilíbrio químico, físico e biológico. Essa alteração resulta na proliferação de organismos indesejados à piscicultura, ao desequilíbrio no pH, à redução dos níveis de oxigênio e podem até levar à morte. Na piscicultura é necessário realizar o manejo de forma a reduzir ao máximo as perdas

de ração e controlar os parâmetros da água para que os peixes atinja um crescimento satisfatório (FARIA *et al.*, 2013).

3.4.1 Temperatura

A temperatura tem grande importância na vida em ambientes aquáticos, pois desempenham papel fundamental no desempenho biológico dos animais. Nos peixes, a temperatura tem influência direta na velocidade das reações químicas, as quais incluem os processos que são indispensáveis para a vida dos peixes, como: a digestibilidade, o consumo de oxigênio e a atividade alimentar. Por esse motivo, a temperatura que possibilita maior crescimento em relação à quantidade de alimento consumido é considerada a temperatura ótima (PIEDRAS; MORAES; POUHEY, 2006).

Quando são expostos a temperaturas mais elevadas que a temperatura ótima, os peixes vão demandar um maior consumo de oxigênio, resultando num gasto excessivo de energia para absorvê-lo. Já quando estão em temperaturas inferiores à ótima, os peixes terão limitação na quantidade de alimento consumido devido à diminuição da taxa metabólica basal (SCHIMIDT-NIELSEN, 2002). A Tabela 2 mostra respostas para as diferentes temperaturas.

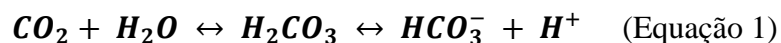
Tabela 2. Respostas fisiológicas em diferentes faixas de temperatura.

TEMPERATURA	RESPOSTAS FISIOLÓGICAS
> 38°C	Morte
30 a 38°C	Falta de apetite, maior incidência de doenças, resistência ao manejo.
25 a 30°C	Conforto térmico.
20 a 25°C	Queda no consumo de alimento e no crescimento.
14 a 20°C	Queda no crescimento, maior incidência de doenças e resistência ao manejo.
< 14°C	Morte.

Fonte: Kubitza (2011)

3.4.2 pH

A regulação do pH na água é feita pelo sistema gás carbônico – bicarbonato – carbonato, onde sua faixa natural varia entre 6,0 – 8,0. Em tanques de cultivo de água doce há uma variação de até duas unidades no pH. Nas águas marinhas ou salobras a variação do pH é menor devido a presença de HCO_3^- , funcionando como um tampão. A Equação 1 representa a reação de equilíbrio CO_2 e HCO_3^- . A variação de pH está relacionada à fotossíntese do fitoplâncton e das plantas aquáticas. As plantas e o fitoplâncton realizam a fotossíntese pelo período da manhã, consumindo o CO_2 e movendo a equação para a esquerda, diminuindo a concentração de H^+ e conseqüentemente elevando o pH da água. Durante o período noturno as plantas e fitoplânctons param de realizar a fotossíntese, e geram CO_2 , logo, a equação será deslocada para direita e haverá diminuição do pH. Quando o pH está acima de 9,0 poderá estar correndo intensa fotossíntese ou presença de carbonatos de Na^+ e/ou Mg^{2+} (BALDISSEROTTO, 2009).



3.4.3 Amônia e outros compostos nitrogenados

Amônia ionizada (NH_4^+) e amônia não ionizada (NH_3) são as principais formas da amônia encontradas na água, sendo a amônia não ionizada a forma mais tóxica. Ambas as formas são encontradas simultaneamente em ambientes aquáticos, porém a temperatura e o pH influenciam na forma em que a amônia será encontrada em maior concentração. A presença desses compostos na água é causada principalmente pela excreção dos peixes (urina e fezes). A concentração tóxica desses compostos fica entre 0,6 e 2,0ppm, concentrações acima dessas são letais para os peixes. Rações com alta digestibilidade melhoram a qualidade da água, pois reduzem a eliminação de amônia (MEDEIROS; MORAIS, 2013).

Para Silva *et al.* (2015), o crescimento e a saúde dos peixes começam a ficar prejudicadas em concentrações de amônia (NH_3) superiores à 0,20 mg/L, sendo o nível de amônia tóxica entre 1,0 a 3,0 mg/L.

A equação 2 representa a reação para formação de íon amônio.



A tabela 3 representa os valores percentuais de amônia não ionizada para águas doces em função da temperatura, o gráfico 1 demonstra a relação entre amônia e íon amônio em função do pH e a equação 3 representa o percentual da concentração de amônia tóxica em função do pH e da temperatura.

Tabela 3. Valores percentuais de amônia não ionizada para águas doces

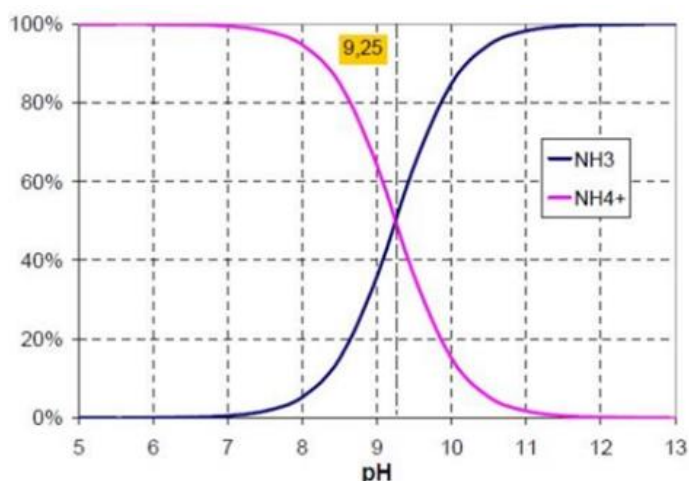
Temperatura (°C)	pH						
	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00
0	0,01	0,03	0,08	0,26	0,82	2,55	7,64
10	0,02	0,06	0,19	0,59	1,83	5,56	15,71
20	0,04	0,13	0,40	1,24	3,82	11,16	28,43
30	0,08	0,25	0,80	2,48	7,46	20,30	44,62
40	0,16	0,49	1,54	4,71	13,51	33,06	60,96

Fonte: Reis; Mendonça (2009)

$$\frac{\text{NH}_3 (\%)}{\text{Amônia total}} = \left[1 + 10^{0,9018 + \left(\frac{2729,92}{T+273,20} \right) - \text{pH}} \right]^{-1} * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde T é a temperatura (°C).

Gráfico 1. Distribuição entre amônia livre e íon amônio em função do pH do meio



Fonte: Metcalf; Eddy (2014)

A amônia será transformada em nitrito e posteriormente em nitrato através da nitrificação, sendo o nitrito um composto intermediário que ocorre por meio de ação de bactérias autotróficas. Essa reação ocorre em duas fases: na nitrificação a amônia é oxidada a

nitrito por bactérias do gênero *Nitrossomonas*; já na fase de nitratação o nitrito é oxidado a nitrito por meio de bactérias do gênero *Nitrobacter*. Em animais intoxicados por nitrito é comum observar a realização da respiração aérea, mesmo com níveis adequados de O₂. Para manter o ambiente seguro para a criação de peixes, deverá ter concentrações de nitrito abaixo de 0,50 mg/L. Por outro lado, o nitrato é um composto que não apresenta toxicidade para os peixes, sendo absorvida pelo fitoplâncton (SILVA *et al.*, 2015).

A diminuição da concentração da mesma está relacionada com a redução do pH, devido à liberação do íon H⁺. Em sistemas fechados é importante a utilização do filtro biológico, pois esses filtros vão servir como leito para fixação das bactérias que convertem amônia em nitrito e nitrato. A forma ionizada da amônia, NH₄⁺, é menos tóxica e é encontrada em maior concentração em ambientes ácidos, já a forma não ionizada é mais tóxica e está em maior concentração em ambientes alcalinos. Quando expostos a altos níveis de amônia (NH₃), alguns peixes utilizam a respiração aérea para aumentar o pH da porção anterior do intestino, órgão utilizado para trocas gasosas na respiração aérea para favorecer a excreção de NH₃ por volatilização simultaneamente com o ar expirado (BALDISSEROTTO, 2009)

3.4.4 Disponibilidade de oxigênio

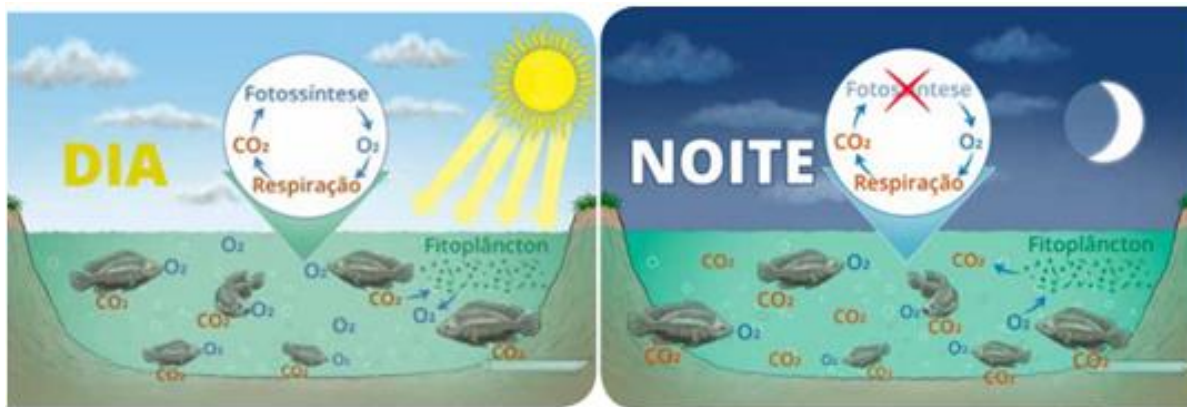
Para os organismos aquáticos é de relevante importância a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) no meio, pois essa variável está diretamente relacionada à obtenção de energia e à realização dos processos biológicos indispensáveis. A quantidade de OD pode ser um fator limitante para as espécies que vivem no ambiente, quando associada à temperatura podem ser consideradas os fatores primordiais para à sobrevivência da fauna aquática (OLIVEIRA, 2003).

A hipóxia está relacionada aos baixos níveis de OD na água, essa queda no OD pode estar relacionada ao consumo de oxigênio pela decomposição de matéria orgânica, pelos peixes, por outros organismos e pela temperatura. Para tentar compensar a falta de oxigênio, os peixes elevam a taxa de ventilação para aumentar o consumo do gás (ROSSO; BOLNER; BALDISSEROTTO, 2006).

A concentração de oxigênio dissolvido na água é influenciada pela salinidade, pressão atmosférica e temperatura. Durante a noite, período onde as microalgas interrompem a produção de oxigênio, em virtude da interrupção do processo de fotossíntese, a concentração de OD chega a diminuir drasticamente. Durante a manhã os níveis de oxigênio voltam a

umentar, atingindo o pico durante a tarde (FARIA; MORAES, 2013). Para Silva *et al.* (2015), a faixa ideal de oxigênio varia entre 4 e 5 mg/L. A figura 2 demonstra a ação do fitoplâncton sobre o oxigênio dissolvido durante o dia.

Figura 2. Representação dos efeitos do fitoplânctons durante o dia



Fonte: SENAR (2019)

3.5 Tratamento da água

Os métodos utilizados para o tratamento da água residuária da aquicultura é o mesmo utilizado em outros tipos de efluentes. Os tratamentos são divididos em físicos, químicos e biológicos. A etapa física está relacionada às forças físicas empregadas na remoção dos contaminantes, utilizando sedimentação e filtração mecânica. Os processos químicos são desenvolvidos paralelamente aos processos físicos e biológicos, porém é menos utilizado devido à utilização de aditivos químicos que podem afetar os processos biológicos. O tratamento biológico é o mais importante para o cultivo dos peixes, sendo a nitrificação o mais significativo. Ele é capaz de reproduzir o processo biológico natural potencializado pela tecnologia (CRAB *et al.*, 2007; VON SPERLING, 2014).

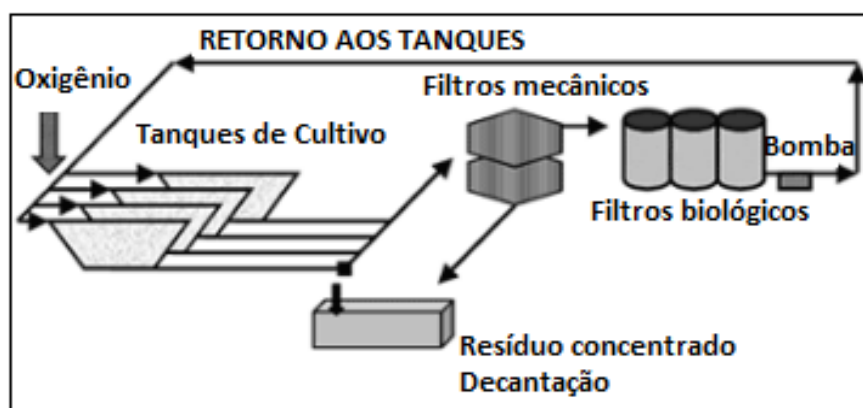
3.5.1 Sistema de Recirculação de Água

O tratamento da água proveniente de tanques de cultivo de peixe em sistema fechado ocorre, principalmente, por meio do Sistema de Recirculação de Água (SRA). Esse sistema é composto por tanques onde são cultivados os peixes, sistema para tratamento da água e sistemas de bombeamento (Figura 3). O sucesso do SRA depende do adequado dimensionamento de um sistema de tratamento de água de forma a proporcionar a qualidade de água adequada para o desenvolvimento dos peixes e dos organismos aquáticos. Além disso, também é necessária a utilização de alimentos de boa qualidade e de profissionais

capacitados para que a operação do sistema seja realizada de forma adequada (AZEVEDO *et al.*, 2014).

Quando comparado aos sistemas comuns de cultivo de peixes, o SRA consegue reduzir em mais de 90% o consumo de água por cada quilo de peixe produzido, além disso, esse sistema é capaz de reduzir a emissão de efluentes e, conseqüentemente, o impacto ambiental causado. Desta forma, o SRA atende aos conceitos de ambientalmente correto (BLANCHETON, 2000).

Figura 3. Representação esquemática de um sistema de recirculação de água



Fonte: Kubitza (2011)

Para Kubitza (2006), os tanques de cultivo podem ter diferentes formatos, porém a utilização de formatos circulares ou ortogonais são ideias, pois esses formatos são capazes de evitar zonas “mortas”, facilitando a remoção de sólidos decantáveis.

Os decantadores têm a finalidade de decantar os sólidos maiores (partículas > 100 micra ou 0,1mm), essas partículas ficam concentradas no decantador e não vão para o filtro, reduzindo a carga orgânica (KUBTIZA, 2011).

O sistema de aeração dos tanques é de grande importância para manter o nível de oxigênio ideal para a produção do pescado, uma oxigenação bem dimensionada gera um aumento na produtividade. A respiração dos organismos aquáticos e os processos fotossintéticos geram flutuações nos níveis de oxigênio dissolvido (KUBTIZA, 2006).

O biofiltro, ou filtro biológico, é um sistema que utiliza meio suporte para fixação de microrganismos. Esse meio suporte pode ser composto por diversos materiais como britas, pedras, ripas, materiais plásticos e outros. É essencial um sistema de aeração para fornecer

oxigênio para os microrganismos. Os biofiltros são capazes de remover nutrientes, como compostos nitrogenados, os microrganismos aderidos ao meio suporte são capazes de converter amônio em nitrito e, posteriormente, nitrito em nitrato. Esse processo é chamado de nitrificação e os microrganismos responsáveis por esse processo são as bactérias nitrificantes (Von Sperling, 2014). Para Kubtiza (2006), inúmeros tipos de substrato podem ser utilizados para preencher o biofiltro, sendo mais comum a utilização de areia grossa, cascalho, brita e esfera plástica.

Dentro de um biofiltro pode ocorrer processos que podem ser classificados como aeróbios, anaeróbios e/ou anóxicos. Para que o processo seja aeróbio é imprescindível a presença de aeração no biofiltro. Porém, mesmo em processos com a presença de aeração há a presença de microrganismos aeróbios, anaeróbios e anóxicos. A presença de todos esses grupos de microrganismos ocorre devido à espessura do biofilme ser permitir a entrada de OD por difusão apenas nas regiões próximas à superfície (MOLINA, 2015).

3.5.2 *Wetlands*

O sistema de *wetlands* ou leito cultivado é um tratamento baseado na utilização de áreas alagadas naturais, sendo essas áreas alagadas projetadas artificialmente para utilizar macrófitas (plantas aquáticas) em substratos como areia e cascalho. O substrato é capaz de servir como meio suporte para proliferação de microrganismos que tratam o efluente por meio de processos biológicos, químicos e físicos (SOUSA *et al.*, 2003). A principal função dos leitos cultivados é tratar águas residuárias por meio de mecanismo de filtragem e da ação bacteriana, sendo os poluentes removidos da água enquanto os nutrientes são absorvidos pelas macrófitas (SILVA, 2012).

Para Carneiro *et al.* (2015), a relação que existe entre superfície/volume do substrato utilizado deve ser elevada para que as colônias de microrganismos tenham um desenvolvimento adequado e, com isso, tornar mais eficiente o processo de nitrificação da amônia produzida pelos peixes.

Os trabalhos realizados no Brasil sobre leitos cultivados apresentam estudos desenvolvidos com diferentes objetivos, podendo ser destacados: tratamento de esgoto urbano, abastecimento de água industrial e urbana, entre outros. No estudo realizado na Paraíba, o sistema de leito cultivado foi utilizado para tratar efluentes de um reator UASB, chegando a eficiência de 66% na remoção de nitrogênio (SOUSA *et al.*, 2004). Leitos

cultivados também foram utilizados na rizicultura associada à piscicultura para tratamento de efluente agrícola, onde a utilização da macrófita *Brachiara subquadripara* obteve êxito no tratamento do efluente (GARCIA *et al.*, 2009).

3.5.3 Aquaponia

A aquaponia, diferente dos sistemas de recirculação convencionais, utiliza uma unidade hidropônica no lugar do biofiltro utilizado no sistema convencional. Os sistemas hidropônicos são capazes de utilizar o resíduo dos peixes para crescimento das plantas reduzindo impactos negativos ao ambiente (LOVE *et al.*, 2014). O pH influencia diretamente na eficiência dos sistemas aquapônicos, pois a solubilidade dos nutrientes sofrem forte influência do pH, em ambiente com pH superiores a 7,0 a solubilidade dos nutrientes Fe, Mn, B, Cu decresce drasticamente, por outro lado em pH inferior a 6,0 nutrientes como Mg, P, Ca e Mo têm sua solubilidade reduzida (DOMINGUES *et al.*, 2012)

Segundo Kubtiza (2006), para a montagem de um sistema aquapônico é necessário os seguintes equipamentos: tanque de cultivo, decantador e filtro, biofiltro, tubulações, sistema de aeração e sistema de bombas.

De acordo com Rakocy *et al.* (2006) e Somerville *et al.* (2014), a aquaponia trata-se de um sistema em que uma cultura aproveita os subprodutos da outra com benefício recíproco, simbiose. A criação de peixes gera nutrientes devido a excreção elevada dos peixes e aos restos de alimentos, esses nutrientes serão essenciais para a nutrição de microrganismos e plantas. O sistema de tratamento resulta na transformação e redução de compostos da água residuária.

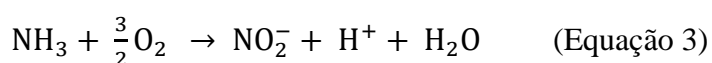
Para Cometti (2003), as hortaliças são as mais utilizadas em sistemas aquapônicos, principalmente a alface devido a sua praticidade e eficiência. Na literatura brasileira existem inúmeros estudos realizados com foco no consórcio leguminosas e Tilápia que obtiveram excelentes resultados animais e vegetais como os estudos realizados por Alves *et al.* (2015) e Rigo (2017).

3.6 Nitrificação

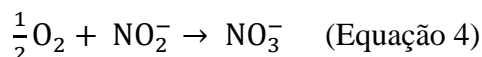
A nitrificação consiste no processo microbiológico de oxidação da amônia, sendo o nitrato o seu produto final. Para que esse processo ocorra é necessária a presença de bactérias específicas, tal processo é dividido em duas etapas. Na primeira etapa, nitritação, a amônia é

oxidada para nitrito por meio da atividade bioquímica das bactérias do gênero *Nitrossomonas*. Na segunda etapa, nitratação, a oxidação do nitrito ocorre por meio de bactérias do gênero *Nitrobacter*. Ambos os gêneros das bactérias são aeróbios obrigatórios, ou seja, apenas desenvolvem suas atividades em ambientes com oxigênio dissolvido.

Em ambientes aquáticos, a amônia é oxidada para nitrito (NO_2^-) por meio das bactérias do gênero *Nitrossomonas*, a equação 4 representa esta reação.



Em seguida o nitrito é transformado para nitrato (NO_3^-) por bactérias do gênero *Nitrobacter*, como mostrado na equação 5.



Para Ferro (2015), o monitoramento de parâmetros, como temperatura, alcalinidade, concentração de oxigênio dissolvido (OD) e de amônia, pH e relação carbono/nitrogênio, são essenciais para garantir que a nitrificação ocorra de forma eficiente.

A temperatura e o pH exercem grande influência na velocidade de nitrificação, pois parâmetros interferem diretamente nas funções básicas dos microrganismos responsáveis pela nitrificação. A faixa ideal para temperatura e pH varia entre 25 – 36 °C, e 7 – 9, respectivamente, caso a temperatura ou pH esteja fora da faixa ideal, poderão ser fatores que irão limitar o processo. Quando o íon amônio é oxidado para nitrato, poderá ocorrer diminuição do pH que conseqüentemente causará limitações nos microrganismos responsáveis pela nitrificação, essa diminuição ocorre em ambientes onde não há alcalinidade suficiente, portanto, a alcalinidade também deve ser monitorada. O oxigênio também é fator limitante no processo de nitrificação, sendo a faixa de concentração ideal de 2 a 3 mg/L (METCALF; EDDY, 2014).

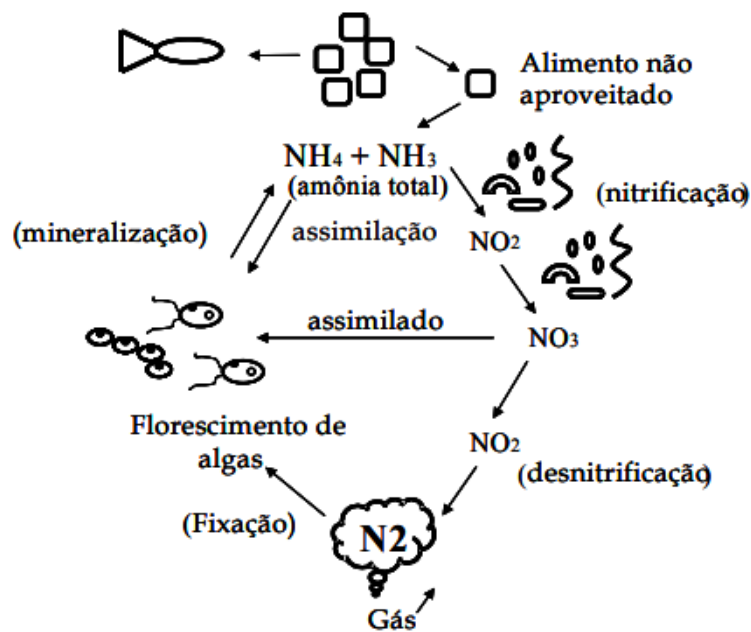
3.7 Desnitrificação

A desnitrificação ocorre em regiões anóxicas, presença de nitrato e ausência de oxigênio. Na desnitrificação um grupo de bactérias vai utilizar o nitrato como acceptor de elétrons, convertendo-os em nitrogênio gasoso, em seguida este nitrogênio gasoso escapa para a atmosfera. Como na desnitrificação são utilizadas bactérias facultativas poderá resultar na economia de energia com aeração, pois essas bactérias utilizam nitrato no processo de respiração (VON SPERLING, 2014).

Quando comparado aos organismos nitrificantes, os desnitrificantes têm menos sensibilidade aos fatores ambientais, todavia, é importante salientar que algumas condições devem ser atendidas para que seja alcançada uma boa eficiência no processo. O oxigênio dissolvido é um dos parâmetros que deve ser controlado, pois sua presença interromperá a desnitrificação. Outro parâmetro que deve ser observado é a alcalinidade, pois no processo de desnitrificação resultará no aumento do pH, porém a faixa ótima para os microrganismos está entre 7 e 8. A temperatura também é um fator que tem influência na velocidade da desnitrificação (METCALF; EDDY, 2014).

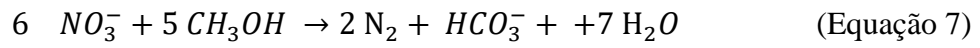
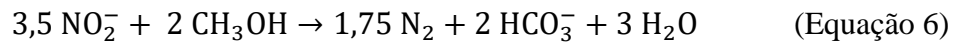
O ciclo do nitrogênio nos tanques de criação de peixe pode ser descrito conforme a figura 4.

Figura 4. Ciclo do nitrogênio em tanques de criação de peixes



Fonte: Durborow *et al.* (1997)

As etapas metabólicas de redução via nitrito (NO_2^-) e via nitrato (NO_3^-), podem ser descritas pelas equações 6 e 7, respectivamente.



4 METODOLOGIA

A elaboração deste estudo decorre da necessidade de melhorar os sistemas de tratamento de água proveniente dos tanques de cultivo de peixes que utilizam o sistema de recirculação de água. O procedimento metodológico adotado no presente estudo baseia-se em revisão de leitura sistematizada com base na literatura técnica, nacional e internacional de dissertações, teses, revistas e livros, assim como normas e diretrizes a respeito do assunto proposto.

A metodologia utilizada como base para executar essa etapa partiu de um levantamento bibliográfico onde foram utilizadas as plataformas de busca do Portal de periódicos da Scielo, Scopus e Google Scholar. Depois de identificar a base de dados que seria consultada, partiu-se do princípio de definir as palavras-chave utilizadas na busca, sendo elas “Desnitrificação”, “Nitrificação”, “RAS”, “Filtro biológico”, “Sistema de recirculação de água”, “*Denitrification*”, “*Nitrification*”, “*Oreochromis niloticus*”, “*biological filter*”, “Aquaponia”, “*wetlands*” e “Tilápia do Nilo”. As palavras-chave foram combinadas entre elas, sendo necessário utilizar palavras com o mesmo idioma, utilizando os conectivos “E” e “OU”. Os artigos selecionados apoia a tomada de decisão e tratam do uso de tecnologias para sistemas de tratamento da água proveniente dos tanques de Tilápias, tomando em consideração as condições ambientais e financeiras.

Posterior à busca pelos trabalhos foi elaborada uma planilha com as principais tecnologias utilizadas no tratamento de compostos nitrogenados da piscicultura, essa planilha foi desenvolvida com o auxílio do software MS-Excel®. A escolha do software foi devida, principalmente, ao fato desse ser o mais utilizado para o desenvolvimento de planilhas.

Para a presente pesquisa foi estabelecido o período de interesse entre 2012 até 2021, pois esse período traria estudos atualizados sobre o tema proposto. Nesse momento foram encontrados 125 trabalhos, a partir de então foi avaliado o reconhecimento científico. Nessa etapa, foram avaliados quais trabalhos tinham o maior conhecimento científico. Após a avaliação 36 trabalhos foram selecionados com base no levantamento do número de citações e sua relevância, de acordo com o Google Acadêmico, Scielo e Scopus, essa pesquisa foi realizada entre os dias 15 e 28 de julho de 2021.

Após a realização da leitura dos 36 artigos foram selecionados os trabalhos que estavam alinhados com a proposta do presente trabalho. Sendo selecionados 5 trabalhos para prosseguir com estudo.

4.1 Remoção de compostos nitrogenados na criação de Tilápia do Nilo

Após ter os trabalhos selecionados, foram descritas as metodologias adotadas pelos autores e em seguida foi avaliada a eficiência do tratamento da água a partir das tecnologias adotadas. Foram avaliados os parâmetros mais importantes para o desenvolvimento dos peixes (pH, temperatura, OD e compostos nitrogenados) com foco principal no tratamento dos compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato).

4.2 Apresentação de melhorias e realização de novos estudos

Por fim, foi realizada uma matriz SWOT apresentando as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças para cada sistema de tratamento de efluentes proveniente da piscicultura. Propondo novos estudos e apresentando melhorias que visem aumentar a produção do pescado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Tecnologias adotadas pelos autores

Os autores adotaram diferentes tipos de tecnologias para tratamento dos efluentes de piscicultura em Sistemas de Recirculação de Água. As principais tecnologias utilizadas para remoção de compostos nitrogenados envolviam os processos de nitrificação e desnitrificação utilizando diferentes materiais suporte para a fixação de microrganismos, mas um dos autores selecionados utilizou leguminosas para o tratamento da água proveniente de tanques de piscicultura.

Os autores Belintano *et al.* (2020) avaliaram o tratamento de efluentes da piscicultura utilizando aquaponia. A autora Silva (2012) utilizou a tecnologia de *wetlands* para tratamento de efluentes da criação de Tilália do Nilo. Por outro lado, os autores Duarte (2011), Freddi (2019) e Enriquez (2018) realizaram suas pesquisas focadas na utilização de biofiltro para tratamento das águas provenientes dos tanques da piscicultura. Enriquez (2018) utilizou a NanoMídia®, em MBBR (Reator Biológico de Leito Móvel), como meio suporte (mídia) para o desenvolvimento dos microrganismos. Duarte (2011) utilizou mídias alternativas como material suporte, nos estudos desse autor foi utilizado para o preenchimento do biofiltro concha marinha e brita. Freddi (2019) utilizou a tecnologia MABR (Reator de biofilme aerado em membrana) para tratamento dos efluentes de piscicultura.

A tabela 4 representa os trabalhos que foram selecionados após revisão sistematizada da literatura, sendo selecionados trabalhos onde foram utilizadas técnicas para tratamento da água proveniente de tanques destinados à piscicultura. Portanto, são identificados os autores, as tecnologias aplicadas e os objetivos de cada autor.

A tabela 4 representa os trabalhos que foram selecionados após revisão sistematizada da literatura, sendo selecionados trabalhos onde foram utilizadas técnicas para tratamento da água proveniente de tanques destinados à piscicultura. Portanto, são identificados os autores, as tecnologias aplicadas e os objetivos de cada autor.

Tabela 4. Referências para tecnologias adotadas no tratamento de efluente de tanques de piscicultura

Trabalho	Título	Tecnologia aplicada	Objetivo
BELINTANO <i>et al.</i> (2020)	Sistema de aquaponia em escada: estudo de caso.	Biofiltro (cerâmica) + Aquaponia	Descrever o desenvolvimento de um sistema intensivo de produção de tilápias no modelo de aquaponia em escadas.
SILVA (2012)	Desenvolvimento de um sistema de recirculação com uso de <i>wetlands</i> construídas para efluentes da piscicultura	<i>Wetlands</i>	Avaliar a eficiência de leitos cultivados de fluxo subsuperficial, a viabilidade da utilização de materiais de baixo custo na montagem dos filtros, juntamente com a planta Vetiver (<i>C. zizanioides</i>) na melhoria da qualidade do efluente de piscicultura (<i>O. niloticus</i>) em escala piloto, com ciclo fechado de água (sistema de recirculação).
DUARTE (2011)	Cultivo de pós-larva de Tilápia do Nilo utilizando diferentes proporções de substrato concha/brita no biofiltro.	Biofiltro (concha/brita)	Avaliar a proporção ideal de concha calcária/brita em biofiltro interno, no cultivo de pós-larvas de tilápia do Nilo.
ENRIQUEZ (2018)	Remoção de nitrogênio e fósforo de efluentes da atividade piscícola em sistema fechado reatores de leito móvel com biofilme.	Biofiltro (MBBR)	Avaliar a eficiência na remoção de nitrogênio e fósforo das águas residuárias de um sistema de recirculação para aquicultura por meio de MBBR associado ao processo nitrificação desnitrificação simultânea visando reutilização do efluente tratado.
FREDDI (2019)	Uso de reator de biofilme aerado em membrana no tratamento de efluente de sistema de recirculação aquícola.	Biofiltro (MABR)	O objetivo central desta pesquisa foi avaliar a eficiência do tratamento das águas residuárias da produção intensiva de Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) em um Sistema de Recirculação para Aquicultura (SRA) por meio de um Decantador de Coluna (DC) associado a um Reator de Biofilme Aerado em Membrana (MABR).

Fonte: Autor (2021)

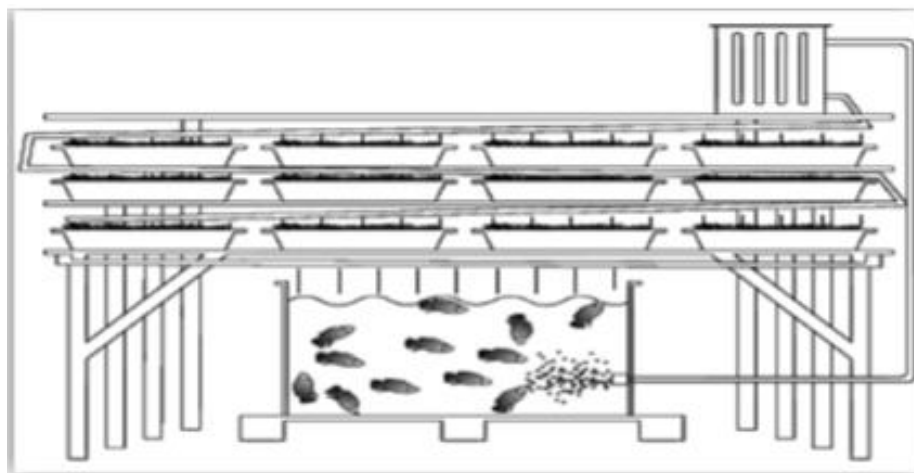
5.2 Resultados encontrados pelos autores

A apresentação dos resultados alcançados pelos autores de cada trabalho será realizada após a descrição de cada um dos aparatos experimentais utilizados, como forma de contribuir na apresentação e entendimento dos resultados.

5.2.1 Pesquisa realizada por Belintano *et al.* (2020)

O trabalho realizado por Belintano *et al.* (2020) contou com um sistema constituído por uma caixa com capacidade de 1.000 L para cultivo de 30 alevinos de Tilápia com peso médio de 50g, uma bomba para recalcar a água do tanque de cultivo para o filtro biológico preenchido com uma tela para filtrar partículas maiores e cerâmica que servia como leito de fixação para os microrganismos. Na sequência a água seguia para as doze bandejas de cultivo de alface, orientadas em escada que recebiam a água do filtro biológico. A água, após passar por essas duas etapas de tratamento, voltava para o tanque de cultivo por gravidade, caindo na forma de cascata para oxigenar o tanque de cultivo. A figura 5 demonstra o sistema montado pelos autores.

Figura 5. Sistema de aquaponia em escada

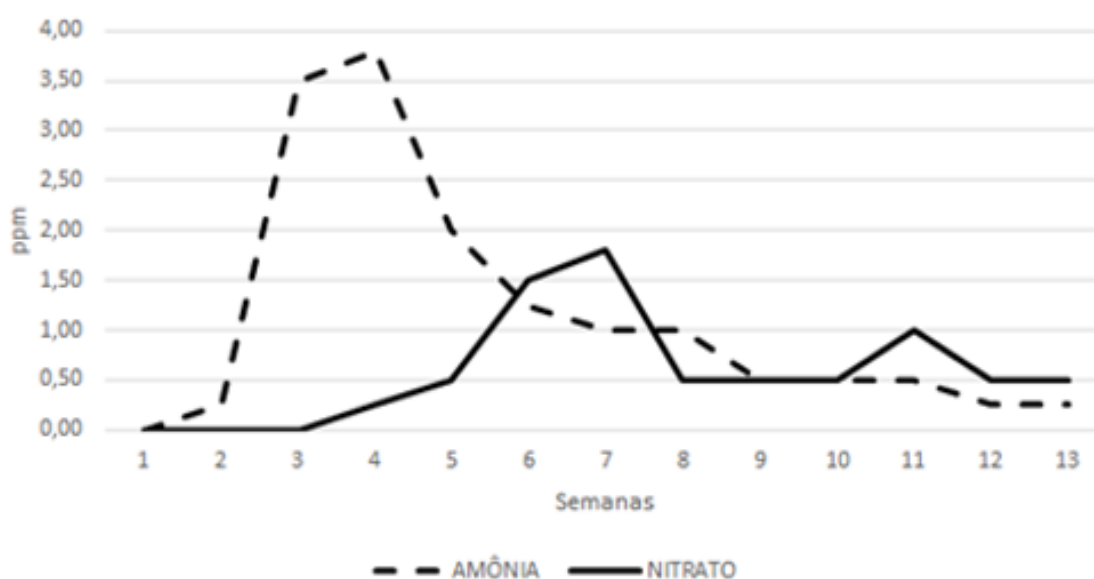


Fonte: Belitano *et al.* (2020)

Após três meses de acompanhamento, os parâmetros monitorados apresentaram resultados satisfatórios em relação ao cultivo simultâneo de Tilápia e alface. A temperatura média observada durante o estudo foi de 28,17 °C, sendo a mínima de 25,3 e a máxima 32 °C. O OD observado durante o experimento variou entre 5,1 e 6,5 mg/L, enquanto isso, o pH teve seus valores variando entre 6,4 e 7,14. Já a amônia e o nitrito tiveram seus valores médios de 1,37 e 0,76 ppm, respectivamente. Os valores de amônia e nitrito iniciaram em zero, porém os

níveis de amônia começaram a aumentar a partir da segunda semana, chegando ao valor de 3,8 ppm na quarta semana. Após atingir seu valor máximo, a concentração de amônia começou a diminuir até estabilizar em 0,25 ppm na décima segunda semana. Por outro lado, o nitrato permaneceu em zero até a quarta semana, quando apresentou concentração de 0,25 ppm, atingindo o valor de 1,8 ppm na sétima semana, a partir de então a concentração de nitrato começou a reduzir e se estabilizou em 0,5 ppm. O gráfico 2 demonstra a variação de amônia e nitrato durante o período de monitoramento.

Gráfico 2. Níveis de amônia e nitrato mensurados durante o período de criação



Fonte: Belitano *et al.* (2020)

As excretas do peixe e a ração não consumida aumentam a concentração de amônia na água, onde a mesma é reduzida a nitrato por meio do processo de nitrificação para então ser absorvida pelos vegetais do sistema (TYSON *et al.*, 2008). No estudo realizado por Belintano *et al.* (2020) foi possível observar a necessidade de esperar algumas semanas para que as bactérias nitrificantes comecem a povoar o sistema e a realizar o tratamento de forma adequada para que os parâmetros se enquadrem no exigido. A produção de Tilápias integrada com o cultivo de alfaces mostrou-se eficiente para manutenção da qualidade da água.

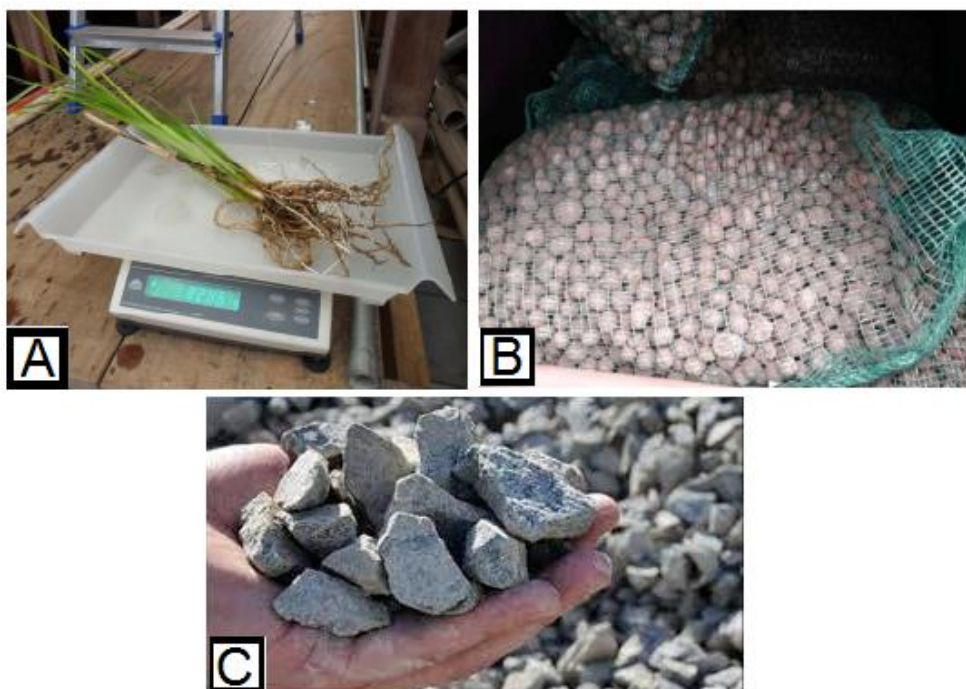
5.2.2 Pesquisa realizada por Silva (2012)

O trabalho realizado por Silva (2012) foi dividido em três ensaios, o primeiro avaliou os meios suporte e a utilização da planta Capim Vetiver no tratamento do efluente, o segundo avaliou a eficiência do tratamento para diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH), e por último foi avaliada a densidade populacional na eficiência do tratamento. O primeiro ensaio

não alcançou os objetivos pretendidos, pois houve problemas devido à falta de oxigenação dos tanques de cultivo e excesso de nitrito proveniente da reutilização da mídia suporte que havia sido utilizada em outros experimentos.

Para o presente trabalho interessa os resultados obtidos no segundo ensaio. Esse ensaio foi desenvolvido por quatro semanas e teve como objetivo principal avaliar o efeito do tempo de detenção hidráulica na eficiência do tratamento utilizando três meios suporte de leitos cultivados: Argila, Brita nº 2 e Mix (mistura homogênea de brita e argila usando as mesmas proporções de volume). Nesses 3 leitos foram adicionados a planta Vetiver (Figura 6). Para esse experimento foram utilizados 270 exemplares de Tilápia do Nilo com peso médio de 190g. Os parâmetros pH, temperatura e OD foram medidos três vezes por semana, enquanto amônia, nitrito e nitrato foram medidos mensalmente. O ensaio teve duração de quatro semanas devido à chegada do inverno, resultando na queda brusca da temperatura dentro dos viveiros e, conseqüentemente, a morte dos peixes, sendo necessário interromper o ensaio na metade do período planejado. As vazões utilizadas no experimento poder ser vistos na tabela 5.

Figura 6. Capim Vetiver (A), Argila expandida (B) e Pedra brita nº 2 (C)



Fonte: (A e B) Silva (2012), (C) www.meiacolher.com

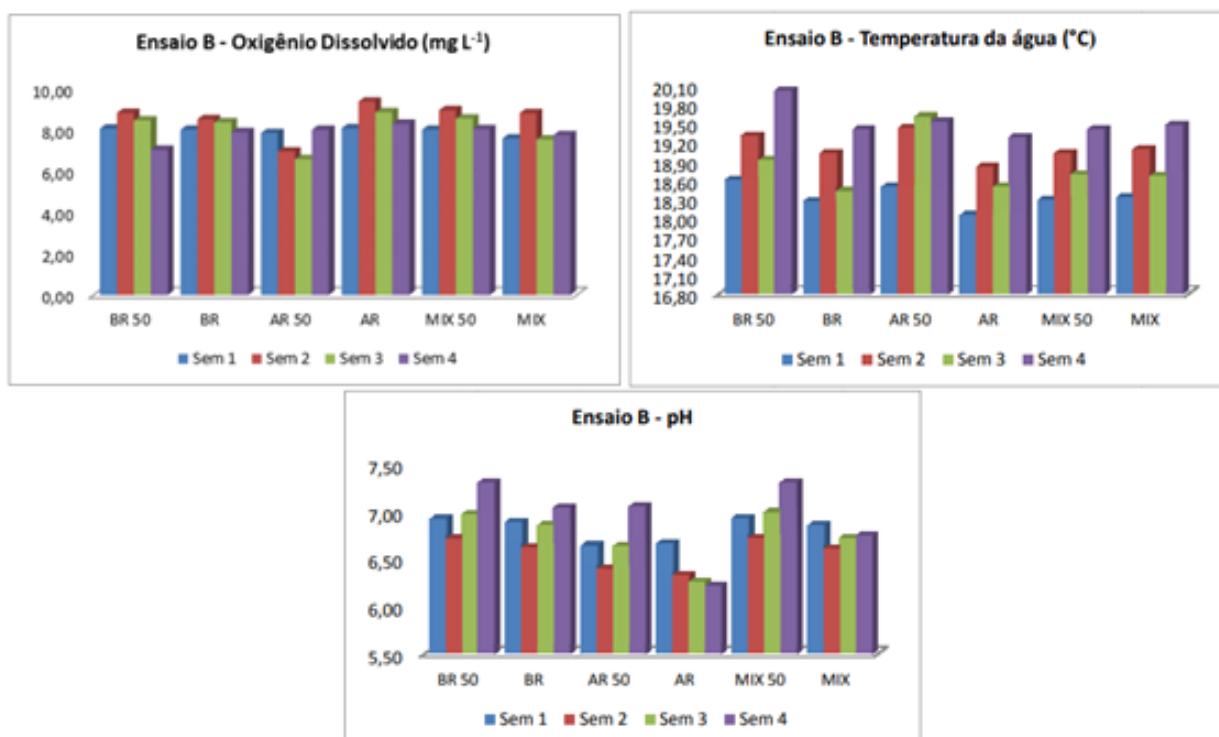
Tabela 5. Valores para vazão e TDH dos diferentes sistemas

Tratamento	Vazão(L.s⁻¹)	TDH (minuto)
BR 100	0,11	21
BR 50	0,06	39
AR 100	0,10	17,4
AR 50	0,05	35,4
MIX 100	0,09	13,8
MIX 50	0,06	21

Fonte: Silva (2012)

A tabela 6 e o gráfico 3 demonstram os resultados obtidos no estudo realizado por Silva (2012).

Gráfico 3. Parâmetros do ensaio B. BR - brita; BR 50 - brita com vazão a 50%; AR - argila expandida; AR 50 - argila com vazão a 50%; MIX - brita com argila expandida; MIX 50 - MIX com vazão a 50%



Fonte: Silva (2012)

Tabela 6. Compostos nitrogenados. BR – brita com 100% vazão; BR E – efluente da brita 100% vazão; BR 50 – brita com 50% vazão; BR50 E – efluente da brita 50% vazão; AR - argila com 100% vazão; AR E – efluente da argila com 100% vazão; AR50 - argila com 50% vazão

	NO₂	NO₃	NH₄⁺	N total
	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹	mg.L ⁻¹
BR	0,14	97,90	0,00	0,00
BR E	0,08	95,19	0,47	0,00
% Redução	46,24	2,77		0,00
BR 50	1,68	114,01	0,27	0,16
BR E 50	2,61	104,94	0,23	0,16
% Redução	-55,83	7,95	13,90	0,00
AR	0,03	80,17	0,00	0,18
AR E	0,00	79,56	0,00	0,18
% Redução	100,00	0,77		0,00
AR 50	0,49	126,92	15,48	0,53
AR E 50	0,04	121,16	13,23	0,63
% Redução	92,81	4,54	14,54	-20,00
MIX	0,09	89,88	0,41	0,19
MIX E	0,00	96,21	0,00	0,00
% Redução	100,00	-7,04	100,00	100,00
MIX 50	0,12	137,12	0,00	0,15
MIX E 50	0,08	143,22	0,00	0,07
% Redução	30,98	-4,44		52,63

Fonte: Silva (2012)

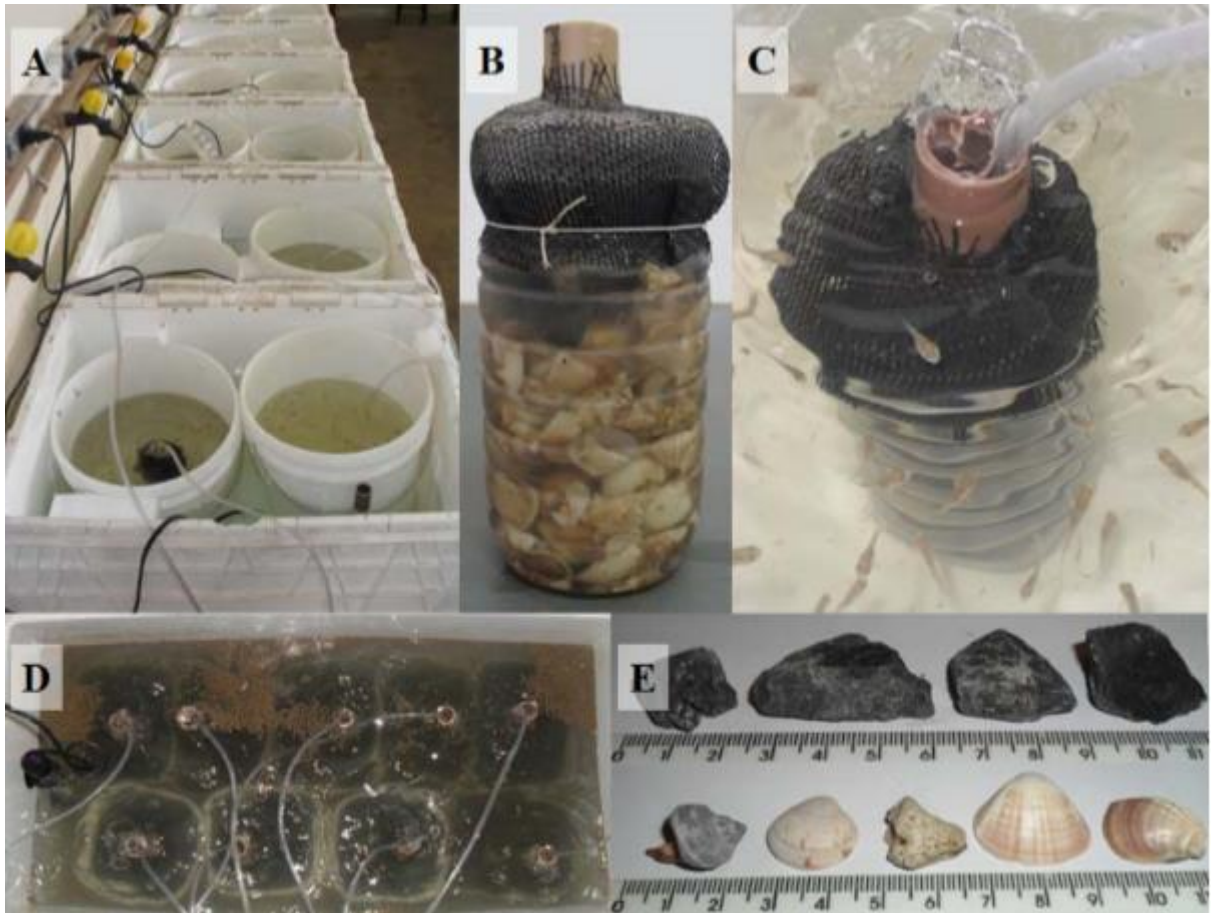
Para Silva (2015), a leve diminuição de oxigênio dissolvido (OD) nos tanques de argila pode estar relacionada às partículas em suspensão proveniente da própria argila, porém o OD se manteve em boas concentrações durante o monitoramento. O pH atendeu aos parâmetros normais, mantendo-se próximo da neutralidade. A temperatura da água foi mais elevada nos tanques de argila com 50% de vazão devido à sua posição mais exposta à luminosidade. Para os compostos nitrogenados, o MIX com vazão de 0,10 L.s⁻¹ foi o melhor tratamento, atingindo 100% de remoção de nitrito, íon amônio e nitrogênio total entre a água bruta e a tratada. De forma geral pode-se dizer que as maiores eficiências no tratamento dos compostos nitrogenados foram nos sistemas com vazão máxima, com exceção do nitrito que teve redução de 92,81% no tratamento com argila na vazão de 50%.

O sistema de tratamento com mídias alternativas cultivadas apresentaram ótimos resultados no tratamento de água e desenvolvimento dos peixes criados. O uso dessas mídias alternativas se mostrou viável na remoção dos nutrientes provenientes do efluente da piscicultura. O tempo de detenção hidráulica (TDH) se mostrou importante na eficiência do tratamento da água, sendo o tratamento mais eficiente em maiores vazões.

5.2.3 Pesquisa realizada por Duarte (2011)

Duarte (2011) comparou a eficiência de biofiltros compostos por diferentes porcentagens de concha/brita (Figura 7) no tratamento do efluente de piscicultura. As diferentes concentrações em porcentagem de volume foram as seguintes: 100% concha calcária (100C); 70% concha calcária/30% brita (70C); 50% concha calcária/50% brita (50C); 30% concha calcária/70% brita (30C); 10% concha calcária/90% brita (10C); 100% brita (0C). Além disso, foi um sistema sem biofiltro (SB) para que pudesse haver a comparação. O biofiltro foi colocado em funcionamento antes do início do experimento para que as bactérias nitrificantes povoassem o biofiltro. Foram utilizadas para o experimento pós-larva com peso médio de 19,00 mg, O sistema era montado pelos tanques de cultivo, biofiltro, um termostato para manter a temperatura em 32 °C e aeração, além disso, os peixes foram alimentados quatro vezes ao dia, sendo realizada uma limpeza do fundo do tanque ao final da primeira refeição. O estudo foi realizado por 14 dias, sendo coletadas amostras para medição dos parâmetros nos dias 7º e 14º dia de experimento.

Figura 7. Tanques de cultivo circulares com temperatura controlada em sistema de banho-maria (A), biofiltro com substrato de concha calcária (B), torre de “air lift” (C), maturação do substrato (D), substrato de concha calcária e brita (E)



Fonte: Duarte (2011)

A concentração de oxigênio dissolvido não teve variações significativas para os diferentes tipos de filtro, mantendo-se nos padrões esperados para o cultivo de Tilápia do Nilo. O pH permaneceu dentro dos padrões normais para o cultivo de Tilápia, porém, foi observado no 14º dia um pH mais elevado nos sistemas que continham os biofiltros compostos por 100% calcário e o que havia 70% calcário e 30% brita. Os aquários sem biofiltro e o com biofiltro com 100% de brita apresentaram concentrações mais elevadas de amônia, por outro lado os aquários com as demais porcentagens no biofiltro não tiveram diferenças significativas na concentração de amônia, com média de 0,24 mg/L, ficando próximo da concentração indicada para o cultivo de Tilápias – abaixo de 0,20 mg/L, sendo a concentração letal acima de 1 mg/L, segundo Silva *et al.* (2015). No caso do nitrito foram observadas concentrações elevadas no 7º dia para o biofiltro composto por 100% brita, já no 14º dia os biofiltros com maiores concentrações de brita apresentaram maiores concentrações

de nitrito, porém, todas as concentrações ficaram em torno de 0,01 e 0,32 mg/L, abaixo da concentração considerada perigosa para os peixes – 0,5 mg/L segundo Silva *et al.* (2015). O nitrato não é muito importante em relação à toxicidade para os peixes, tendo apresentado concentrações mais elevadas no biofiltro com 70% brita e 30% concha. A utilização do biofiltro proporciona melhorias nos parâmetros da água, sendo capaz de manter as condições da água adequada para o cultivo de Tilápia do Nilo. Os parâmetros ficaram dentro dos parâmetros indicados para o cultivo de peixes, exceto para a amônia que teve um leve aumento em relação à concentração ideal. O uso de substrato 30% concha calcária/70% brita, é recomendado, por apresentar melhor taxa de nitrificação ao longo do experimento. A tabela 7 demonstra os resultados obtidos.

Tabela 7. Parâmetros observados no 7º e 14º dia para diferentes biofiltros

Substrato	Amônia (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Oxigênio (mg/L)	pH
7º dia					
100C	0,280	0,063	5,980	6,106	7,290
70C	0,160	0,053	7,366	5,913	7,323
50C	0,206	0,073	7,740	6,243	7,143
30C	0,226	0,176	7,053	6,326	7,180
10C	0,313	0,156	4,140	6,233	7,196
0C	0,460	0,320	4,706	6,650	7,146
SB	4,653	0,043	4,383	6,460	7,243
CV(%)	23,99	34,02	19,78	7,68	1,46
14º dia					
100C	0,323	0,003	1,620	6,043	7,390
70C	0,183	0,010	3,473	6,106	7,360
50C	0,330	0,040	5,100	6,170	7,263
30C	0,593	0,053	8,046	6,446	7,243
10C	0,310	0,053	3,406	6,196	7,233
0C	0,400	0,050	3,930	6,633	7,110
SB	4,680	0,020	0,466	6,466	7,140
CV(%)	64,20	64,04	21,77	7,39	0,85
100C = 100% concha calcária; 70C = 70% concha calcária/30% brita; 50C = 50% concha calcária/50% brita; 30C = 30% concha calcária/70% brita; 10C = 10% concha calcária/90% brita; 0C = 100% brita; SB = sem biofiltro; CV = coeficiente de variância.					

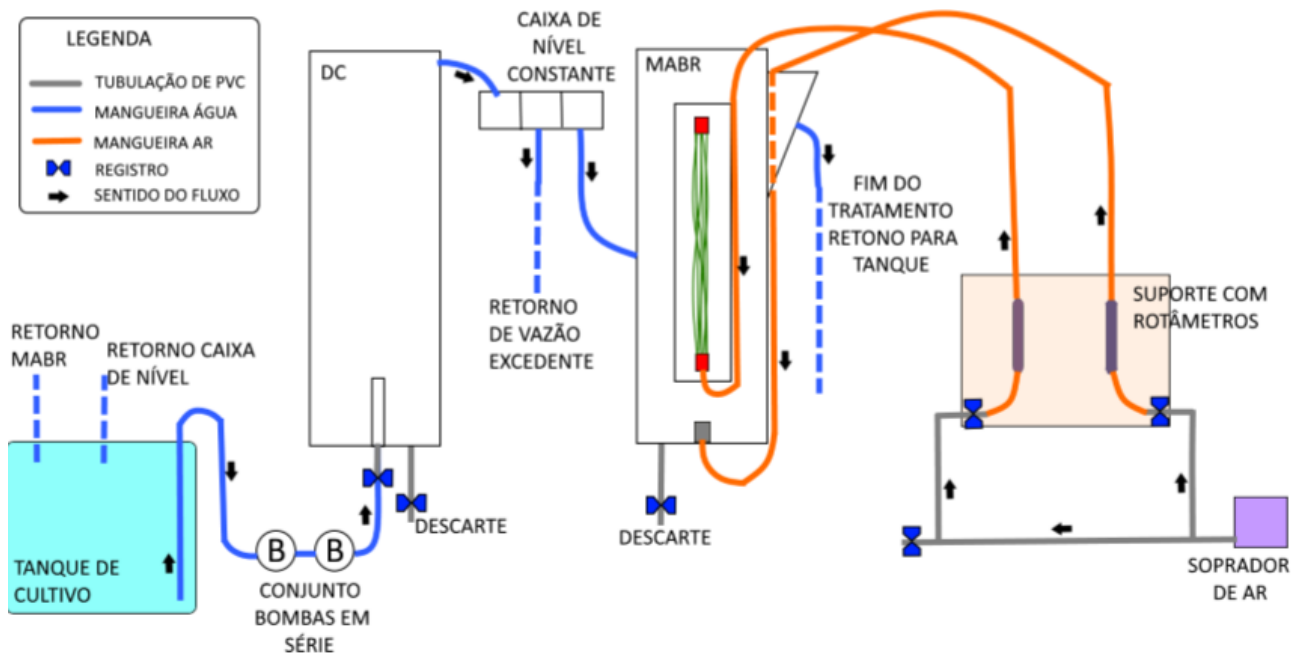
Fonte: Duarte (2011)

5.2.4 Pesquisa realizada por Freddi (2019)

Freddi (2019) mediu a eficiência da utilização de um decantador de coluna (DC) associado a um MABR no tratamento de efluente proveniente de um sistema de recirculação

de água aplicado na criação de Tilápia do Nilo. O sistema era composto por um tanque de cultivo de 1.000 L contendo 54 Tilápias do Nilo com peso médio de 189g, a água do tanque de cultivo era recalçada por duas bombas até o decantador de coluna (DC), em seguida a água partia para o tanque de nível onde o excesso voltava para os tanques de cultivo, após sair do tanque de nível o efluente partia para o reator de biofilme aerado em membranas (MABR), esse filtro é aerado por um soprador de ar, após passar pelo MABR a água retorna para o tanque de cultivo. Os parâmetros oxigênio dissolvido, pH e temperatura foram medidos diariamente no tanque de cultivo, enquanto o nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato foram medidos três vezes por semana na entrada do DC, na saída do DC/entrada do MABR e na saída do MABR, tendo o sistema funcionado por 74 dias. A figura 8 representa um diagrama do sistema montado pelo autor.

Figura 8. Diagrama do experimento



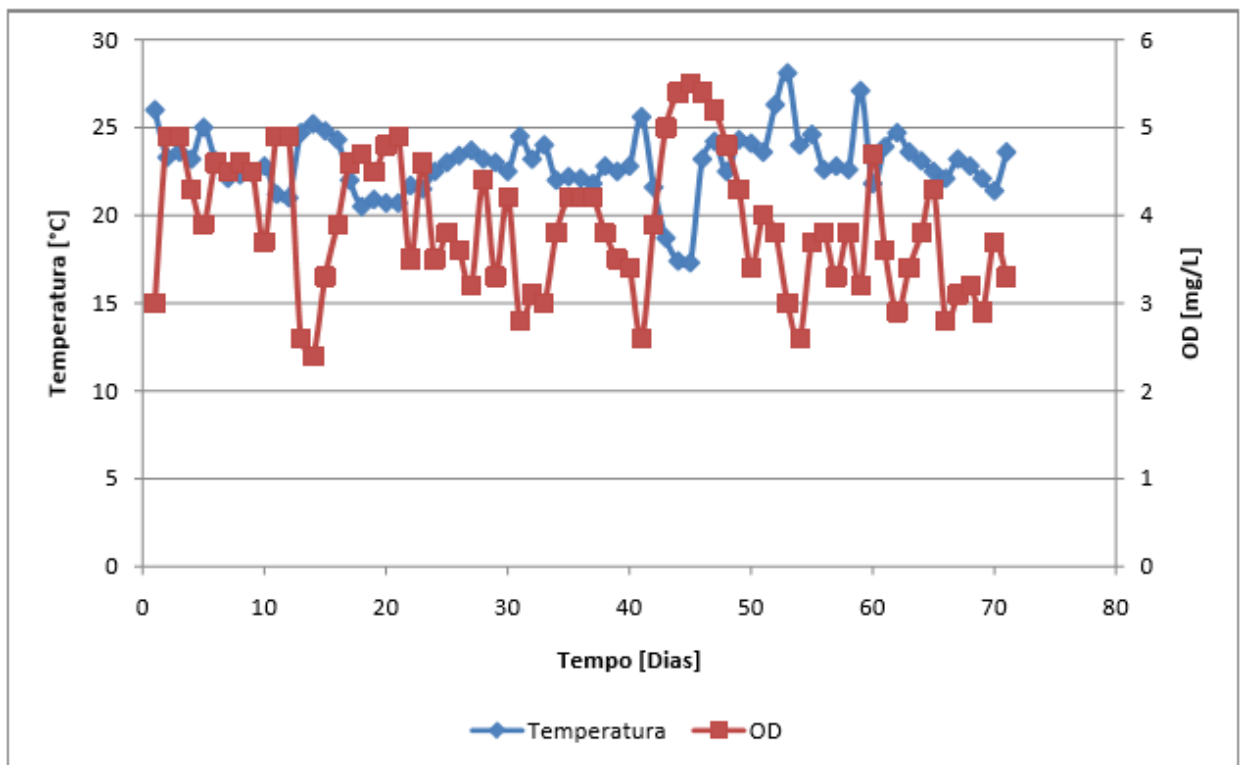
*Figura sem escala

Fonte: Freddi (2019)

A temperatura durante o experimento variou entre 28,1 e 17,3 °C, sendo a temperatura média de 22,92 °C, demonstrando a necessidade da utilização de equipamentos que elevassem a temperatura, pois, para Kubitzka (2011), a temperatura confortável para a espécie é de 25 a 30 °C. O valor médio de oxigênio dissolvido encontrado no experimento foi de 3,9 mg/L, tendo os valores variado entre 2,4 e 5,5 mg/L, sendo possível observar a necessidade de aeradores para aumentar a concentração de oxigênio dissolvido na água, pois,

segundo Silva *et al.* (2015), a faixa ideal de OD é de 4 a 5 mg/L. Outro ponto que pode ser observado é a relação entre OD e temperatura, pois foi possível observar que a medida que a temperatura diminuía a concentração de OD aumentava (ver gráfico 4). O valor médio para o pH foi de 7,94, tendo variado entre 7,15 e 8,3, esses valores ficaram dentro da faixa aceitável para o cultivo de Tilápia do Nilo, pois, segundo Silva (2015), a faixa ideal para as Tilápias varia entre 6 e 8,5.

Gráfico 4. Comparativo entre OD e temperatura



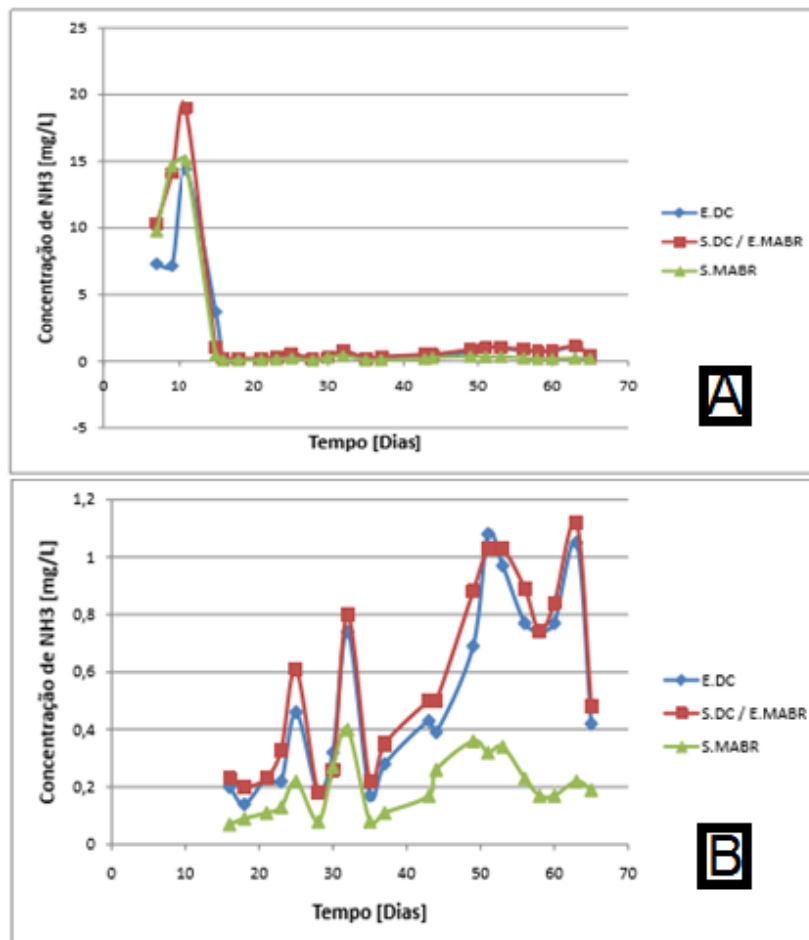
Fonte: Freddi (2019)

As concentrações de amônia, nitrito e nitrato foram elevadas durante os dez primeiros dias de experimento, onde aconteceu pico de amônia de 19 mg/L, pico de nitrito de quase 120 µg/L e pico de nitrato de 12 mg/L, essas elevações na concentração de amônia, nitrito e nitrato aconteceu devido à necessidade de maturação do sistema, sendo necessário realizar intervenções para reduzir a concentração de amônia. Após as intervenções, o tratamento da amônia, nitrito e nitrato começaram a apresentar resultados positivos, os gráficos 5, 6 e 7 representam a concentração de amônia, nitrito e nitrato, respectivamente, em cada ponto de coleta ao longo do experimento. No decantador de coluna houve aumento da concentração de nitrogênio amoniacal de aproximadamente 17%, em média, por outro lado, o MABR apresentou uma eficiência média de remoção de 54%. Para o nitrito o decantador de

coluna foi capaz de remover, em média, 40% de nitrito, enquanto o MABR teve eficiência média de 14%. A concentração de nitrato decaiu lentamente, portanto, até o final do experimento, não foi possível determinar se houve estabilização no tratamento, foi possível observar que o DC teve eficiência média de 23,5% na remoção do nitrato, enquanto o MABR não foi capaz de removê-lo, tendo eficiência negativa de -2,3%.

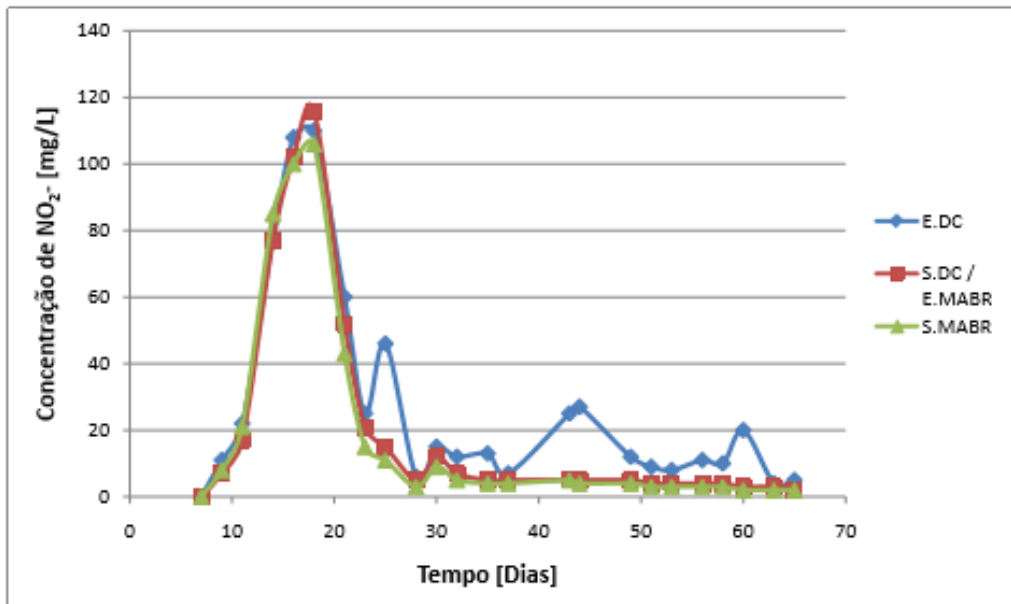
Portanto, o autor pôde concluir que o DC foi eficiente na remoção de nitrito e nitrato, mas para o nitrogênio amoniacal houve aumento da concentração. Já o MABR não contribuiu para a remoção de nitrato e teve uma contribuição muito pequena na remoção de nitrito, porém, apresentou bons resultados no tratamento de nitrogênio amoniacal. É possível observar que a concentração dos compostos nitrogenados ficou acima das concentrações ideais para o cultivo de Tilápia segundo Silva *et al.* (2015), amônia menor que 0,2 mg/L e nitrito menor que 0,5 mg/L.

Gráfico 5. (A) Variação da concentração de NH_3 ao longo do tempo (B) Variação da concentração de NH_3 ao longo do tempo, excluindo o pico



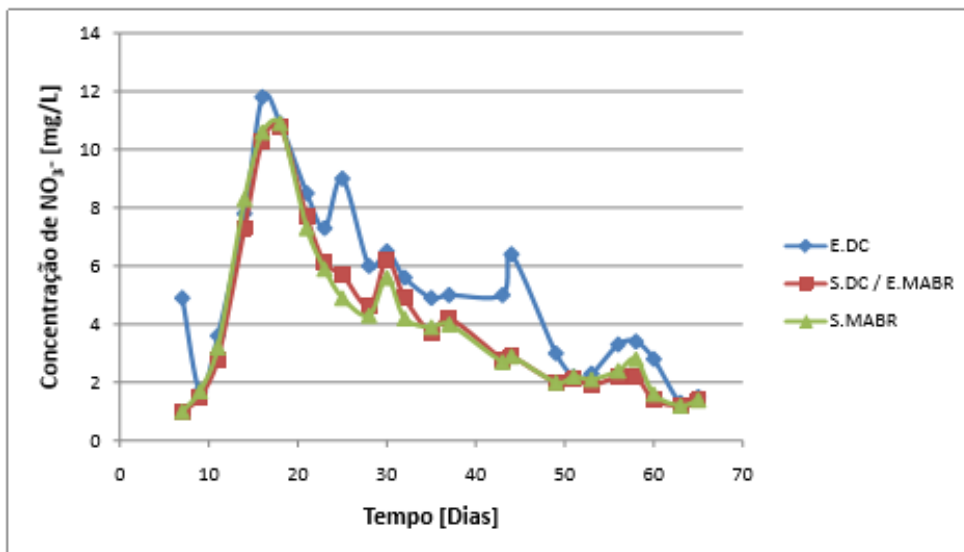
Fonte: Freddi (2019)

Gráfico 6. Concentração de nitrito ao longo do experimento



Fonte: Freddi (2019)

Gráfico 7. Concentração de nitrato ao longo do experimento



Fonte: Freddi (2019)

A figura 9 representa a aparência do MABR antes e após a realização do experimento.

Figura 9. (A) Membranas de silicone do tipo fibra oca (B) MABR após o experimento



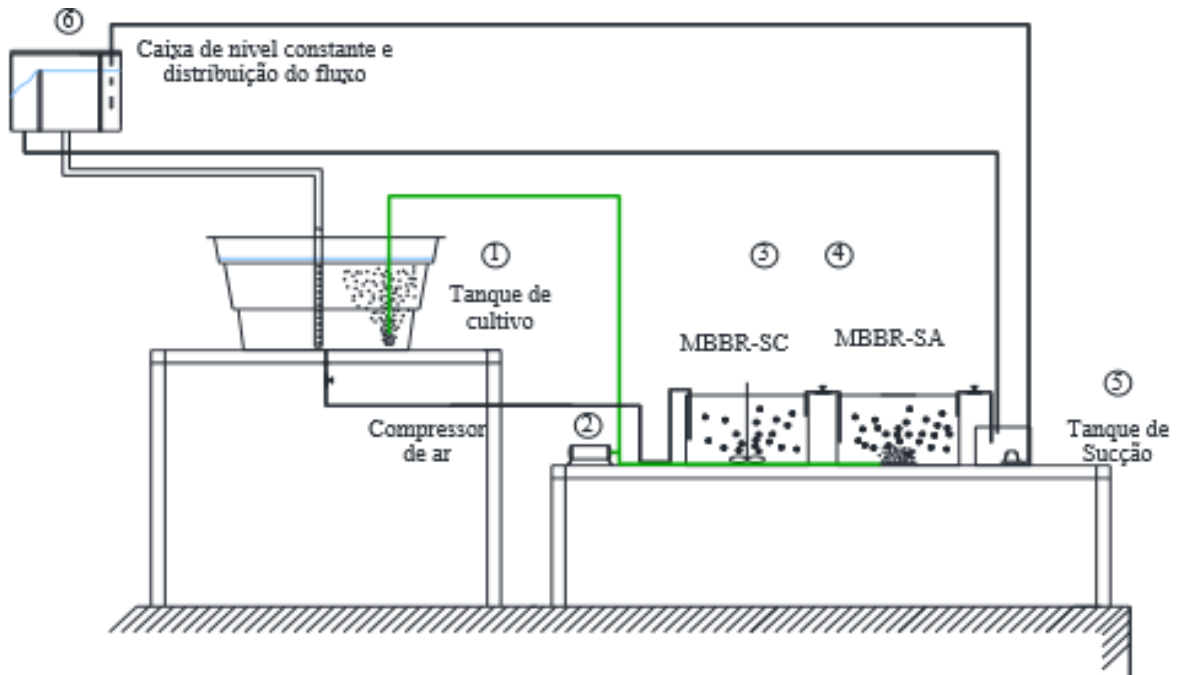
Fonte: Freddi (2019)

5.2.5 Pesquisa realizada por Enriquez (2018)

O experimento realizado por Enriquez (2018) avaliou a eficiência da utilização da NanoMidia MBBR® no tratamento de efluentes de piscicultura. Para o experimento foi montado o seguinte sistema: um tanque de cultivo, após sair do tanque de cultivo o efluente partia para os reatores, um dos reatores era composto por MBBR com sistema de aeração (MBBR-SA) e o outro era composto por MBBR com sistema de circulação (MBBR-SC),

ambos os reatores foram preenchidos com NanoMídia MBBR® como meio suporte. Após sair dos reatores, o efluente tratado era recalcado até uma caixa de nível e em seguida volta para os tanques de cultivo, além disso, o sistema contava com um aerador que alimentavam o tanque de cultivo e o MBBR-SA. A mídia suporte MBBR foi inoculada com lodo de ETE. O esquema do RAS MBBR-SA-SC é apresentado na figura 10.

Figura 10. Esquema da instalação experimental SRA-Sistema pre-desnitrificação

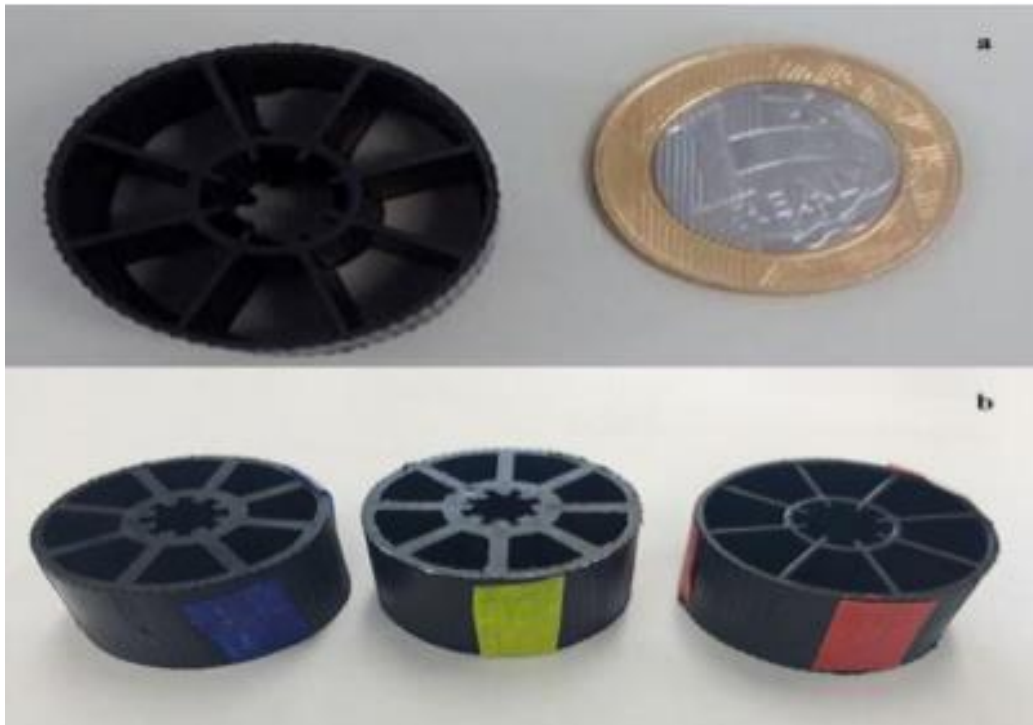


Fonte: Enriquez (2018)

As medições do oxigênio dissolvido, pH e temperatura foram realizadas diariamente, enquanto as medições da amônia, nitrito e nitrato foram realizadas uma vez por semana, a coleta do efluente para medição dos parâmetros foi realizada em três pontos diferentes, são eles: saída do tanque de cultivo, saída do MBBR-SA e saída do MBBR-SC. O experimento durou 282 dias.

A NanoMídia MBBR® (Figura 11) foi a mídia utilizada como suporte para o experimento, essa mídia é feita de polipropileno, massa específica igual à massa específica da água, o que faz com que ela se movimente dentro do reator, peso médio de 3,2 g, área superficial de 687 m²/m³ e área protegida de 525 m²/m³. Sendo meio suporte de elevada área de contanto, feito de material sintético atóxico e excelente resistência química e mecânica.

Figura 11. Meio de suporte NanoMídia utilizado no MBBR



Fonte: Enriquez (2018)

Os resultados obtidos por Enriquez (2018) durante o experimento para a temperatura, pH e OD estão disponíveis na tabela 8. A diferença da temperatura nos diferentes pontos de coleta do experimento ocorreu devido à atividade microbiológica para tratamento do efluente, pois mesmo desligando os equipamentos a diferença entre as temperaturas continuaram. Abaixo de 6,7 o pH pode afetar significativamente o processo de nitrificação (COLT, 2006; RUSTEN *et al.*, 2006). Durante o monitoramento foi possível observar o pH atingir o valor mínimo de 6,21 no MBBR – SA. A concentração de OD ficou, em média, abaixo do ideal 5 mg/L nos reatores, chegando à concentração de 0,1 mg/L no MBBR – SC, essa diminuição na concentração de OD se deve à utilização de bactéria no processo de nitrificação e desnitrificação. A baixa concentração de OD no MBBR – SC, tornando o ambiente praticamente anaeróbio, é necessária para que ocorra o processo de desnitrificação.

Tabela 8. Valores Máximo, média, mínimo, desvio padrão e Variância do temperatura, pH e OD do sistema MBBR - SA/SC

Temperatura (°C)	Entrada	MBBR-SA	MBBR-SC
Máximo	26,6	29	32,7
Média	23,15	24,27	27,72
Mínimo	19,1	19,6	23,9
Des. Pad	1,6	1,94	1,7
Variância	2,57	3,76	2,89
pH	Entrada	MBBR-SA	MBBR-SC
Máximo	7,91	7,98	8,06
Média	7,06	7,07	7,15
Mínimo	6,26	6,21	6,58
Des. Pad	0,23	0,26	0,24
Variância	0,05	0,07	0,06
Oxigênio dissolvido (mg/L)	Entrada	MBBR-SA	MBBR-SC
Máximo	7,21	7,48	5,9
Média	5,43	5,51	1,15
Mínimo	4,02	3,41	0,12
Des. Pad	0,55	0,63	1,32
Variância	0,31	0,4	1,74

Fonte: Enriquez (2018)

Os valores médios, máximos, mínimos e a eficiência do tratamento da amônia total e tóxica estão nas tabelas 9 e 10, respectivamente. É possível observar concentrações elevadas da amônia total, chegando a concentrações próximas de 70 mg/L, porém, como a porcentagem de amônia tóxica (NH₃) presente na amônia total depende da temperatura e do pH, e esses parâmetros alcançaram valores que resultaram em baixa porcentagem de amônia tóxica no sistema, então, a amônia tóxica ficou, em média, abaixo dos valores recomendados para o cultivo de peixes.

Tabela 9. Valores de Concentração e Remoção de Amônia no sistema MBBR

Amônia	Concentração (mg/L)			Remoção (%)		Média total
	Afluente	MBBR-SC	MBBR-SA	Aflu-SC	MBBR SC-SA	
Máximo	68,18	54,50	40,45	72,85	81,06	62,84
Média	38,09	22,90	13,00	41,09	38,92	40,10
Mínimo	14,33	5,10	3,75	5,88	0,89	18,57
Des. Pad	14,75	13,27	8,63	21,24	23,44	12,88
Variância	217,45	176,15	74,40	451,19	549,26	165,88

Fonte: Enriquez (2018)

Tabela 10. Valores de Concentração e Remoção de amônia não ionizada no sistema MBBR

Amônia NH ₃ ⁺	Concentração (mg/L)			Remoção (%)		Média total
	Afluente	MBBR-SC	MBBR-SA	Aflu-SC	MBBR SC-SA	
Máximo	0,93	0,78	0,38	82,44	82,86	74,67
Média	0,24	0,18	0,08	27,00	49,75	38,37
Mínimo	0,05	0,01	0,01	2,53	2,58	5,38
Des. Pad	0,21	0,18	0,07	22,29	24,06	14,82
Variância	0,04	0,03	0,01	496,90	579,08	219,54

Fonte: Enriquez (2018)

A remoção média de nitrito e nitrato foi de 59,3 e 18,61%, respectivamente, sendo o nitrito o que representou maior eficiência no tratamento entre os compostos nitrogenados, enquanto o nitrato apresentou a menor eficiência na remoção de nitrato. As tabelas 11 e 12 representam os dados de nitrito e nitrato, respectivamente, obtidos no experimento.

Tabela 11. Valores de Concentração e Remoção do Nitrito no sistema MBBR

Nitrito	Concentração (µg/L)			Remoção (%)		Média total
	Afluente	MBBR-SC	MBBR-SA	Aflu-SC	MBBR SC-SA	
Máximo	967,05	646,94	2137,93	85,06	99,07	78,77
Média	184,56	88,12	17,25	51,01	67,60	59,30
Mínimo	17,91	0,18	0,53	12,06	6,72	26,28
Des. Pad	180,46	102,92	425,07	23,01	26,34	13,24
Variância	32567,17	10593,04	180681,08	529,23	693,94	175,36

Fonte: Enriquez (2018)

Tabela 12. Valores de Concentração e Remoção do Nitrato no sistema MBBR

Nitrato	Concentração (mg/L)			Remoção (%)		Média total
	Afluente	MBBR-SC	MBBR-SA	Aflu-SC	MBBR SC-SA	
Máximo	10,80	9,50	8,50	30,65	50,00	38,00
Média	6,25	5,28	4,21	15,47	21,75	18,61
Mínimo	2,44	2,16	1,50	5,36	2,44	8,51
Des. Pad	2,44	2,16	2,12	8,29	15,95	9,06
Variância	5,94	4,65	4,50	68,72	254,38	82,03

Fonte: Enriquez (2018)

5.3 Comparativo entre os tratamentos utilizados

As tabelas 13, 14, 15, 16 e 17 representam as tabelas SWOT para a utilização de, decantador de coluna mais MABR, *wetlands*, MBBR, mídias alternativas e sistema aquapônico, respectivamente, no tratamento de efluentes de tanques de piscicultura.

Tabela 13. Matriz SWOT para decantador de coluna mais filtro MABR

	FATORES POSITIVOS	FATORES NEGATIVOS
FATORES INTERNOS	Bom desempenho no tratamento de compostos nitrogenados	Alto custo de instalação O decantador de coluna quando mal operado pode se tornar um depósito de matéria orgânica Aumento do custo para aerar o leito
FATORES EXTERNOS	Ocupa menor espaço quando comparado a outros sistemas de tratamento	Tecnologias mais baratas no mercado Tecnologias para tratamento de efluente da piscicultura com mais estudos realizados

Fonte: Autor (2021)

Tabela 14. Matriz SWOT para leito plantado (*wetlands*)

	FATORES POSITIVOS	FATORES NEGATIVOS
FATORES INTERNOS	Bom desempenho no tratamento de compostos nitrogenados Solução econômica Facilidade operacional Produção de biomassa que pode ser utilizada como ração animal	Podem causar problemas com mosquitos Possibilidade de colmatção Requer período de maturação para a vegetação se estabelecer
FATORES EXTERNOS	Tecnologia muito conhecida devido à grande utilização no tratamento de água residuária Ocupa menor espaço quando comparado a outros sistemas de tratamento	Utilização de tecnologias mais baratas Ocupa mais espaço quando comparado ao SRA convencional

Fonte: Autor (2021)

Tabela 15. Matriz SWOT para MBBR

	FATORES POSITIVOS	FATORES NEGATIVOS
FATORES INTERNOS	<p>Boa eficiência no tratamento do efluente da piscicultura</p> <p>Maior área de povoamento para microrganismos</p>	<p>Custo alto para implantação</p> <p>Aumento no custo de operação do sistema devido ao custo de energia para movimentar o leito</p>
FATORES EXTERNOS	<p>Ocupa menor espaço quando comparado a outros sistemas de tratamento</p> <p>Tecnologia conhecida devido à alta eficiência no tratamento de águas residuárias</p>	

Fonte: Autor (2021)

Tabela 16. Matriz SWOT para biofiltro com mídia alternativa

	FATORES POSITIVOS	FATORES NEGATIVOS
FATORES INTERNOS	<p>Baixo custo de implantação</p> <p>Boa eficiência no tratamento de compostos nitrogenados</p>	<p>Maior possibilidade de comatação por não serem dimensionados para evitá-la</p>
FATORES EXTERNOS	<p>Ocupa menor espaço quando comparado a outros sistemas de tratamento</p>	<p>Biofiltros compostos por materiais mais utilizados no tratamento de efluente podem enfraquecer a utilização de mídias alternativas</p>

Fonte: Autor (2021)

Tabela 17. Matriz SWOT para aquaponia

	FATORES POSITIVOS	FATORES NEGATIVOS
FATORES INTERNOS	<p>Redução do consumo de água na produção de hortaliças</p> <p>Renda extra devido à produção de hortaliças</p> <p>Leguminosas orgânicas</p> <p>Dispensa o uso de agrotóxicos</p> <p>Redução do tempo de colheita quando comparado à produção convencional</p> <p>Nutrientes em abundância</p> <p>Alta produtividade</p> <p>Versatilidade</p> <p>Sustentável</p> <p>Colheita o ano todo</p> <p>Boa eficiência no tratamento do efluente da piscicultura</p>	<p>Custo alto para implantação</p> <p>Necessidade de mão de obra especializada no manejo das culturas</p> <p>Grande demanda de manutenção</p> <p>Possibilidade de vazamento e entupimentos</p>
FATORES EXTERNOS	<p>Maior preço de venda por ser um produto orgânico</p> <p>Aumento da procura por alimentos orgânicos</p> <p>Ocupa menor espaço quando comparado a outros sistemas de tratamento</p>	<p>Público menor que aceitará pagar um preço maior por um produto orgânico</p> <p>Ocupa mais espaço quando comparado ao SRA convencional</p>

Fonte: Autor (2021)

A partir dos estudos apresentados foi possível observar que a utilização dos sistemas de biofiltro utilizando mídias alternativas apresentaram resultados satisfatórios para o tratamento de efluentes de piscicultura. A utilização de mídias alternativas reduz os custos de implantação do projeto em comparação às mídias mais caras, como a NanoMídia MBBR®.

Outros estudos podem ser realizados buscando verificar a eficiência de outras mídias ainda mais acessíveis como, por exemplo, tampas de garrafa PET.

Apesar de todos os trabalhos mostrarem que as diferentes tecnologias apresentam boa eficiência na remoção de compostos nitrogenados, o trabalho realizado por Silva (2012) utilizando MIX de argila e brita no biofiltro e Capim Vetiver foi o que apresentou maior eficiência no tratamento de compostos nitrogenados, chegando a remover 100% de amônia e nitrato. Para quem está iniciando a piscicultura o mais indicado é iniciar com mídias alternativas que demandem menor investimento financeiro, como argila, brita, telha e outros.

A utilização de sistemas aquapônicos e *wetlands* para o tratamento do efluente de piscicultura podem representar mais uma fonte de renda ou de alimentação para os produtores. Apesar de um investimento inicial para a implantação do sistema, esse investimento poderá resultar em ganhos futuros na produção, por exemplo, a utilização da Lentilha D'Água que posteriormente poderá servir como ração para os peixes e outros animais, reduzindo o custo com ração. A aquaponia e *wetlands* podem ser implementadas em sistemas que já utilizam o biofiltro, sendo necessária a realização das devidas adaptações, podendo utilizar simultaneamente macrofitas e leguminosas com o biofiltro.

Um ponto que mostrou bastante relevância no tratamento de efluentes de piscicultura foi o tempo de detenção hidráulica (TDH). No trabalho realizado por Silva (2012) foi possível observar que quando o sistema trabalhava com metade da sua vazão máxima, a eficiência do tratamento era reduzida quando comparada ao sistema funcionando na sua vazão máxima. Com esse resultado fica demonstrado que diminuir a vazão para que o efluente permaneça mais tempo no tratamento não é garantia de maior eficiência de remoção dos compostos tóxicos. Portanto, no momento do dimensionamento do sistema é necessário avaliar qual TDH apresentará melhor eficiência no tratamento do efluente.

Outro ponto que se deve avaliar na implantação do sistema de tratamento, foi a utilização do decantador de coluna (DC), como no trabalho realizado por Freddi (2019). Tal concepção requer processos constantes de limpeza, pois, caso contrário, o decantador funcionará como depósito de matéria orgânica, elevando as concentrações de compostos tóxicos (como a amônia) no sistema, dificultando o tratamento dos compostos nitrogenados devido à sobrecarga no filtro biológico. A utilização de decantadores necessita de um meio rápido e prático para descarga dos sólidos decantáveis. Uma alternativa seria a utilização de

peneira inox com pequena granulometria como primeira etapa do tratamento, dessa forma a remoção de grande parte dos restos de rações e excretas de peixe seriam removidas antes de irem para etapa de tratamento, diminuindo a concentração de amônia. Sendo necessária a utilização de estudos utilizando peneiras com diferentes granulometrias para verificar a contribuição dessa tecnologia no tratamento de efluentes de piscicultura. Também poderia ser realizado um estudo comparando a utilização de peneiras e a utilização de decantadores.

A utilização de equipamentos que monitorem a qualidade da água é indispensável para quem vai iniciar na piscicultura. Termômetro, teste de pH, teste de amônia e teste de nitrito têm preços acessíveis e são facilmente encontrados em lojas que trabalham com aquarismo. A medição desses parâmetros deve ser realizada semanalmente ou quando for observada variações climáticas ou comportamentos atípicos dentro dos viveiros de criação, como queda brusca da temperatura externa e respiração aérea realizada pelos peixes. Através do monitoramento dos parâmetros da água é possível evitar a mortes e perda da produção.

6 CONCLUSÃO

A utilização de filtros biológicos no SRA é capaz de remover compostos tóxicos presentes na água. Esse sistema de filtro biológico pode ser integrado ao cultivo de hortaliças (aquaponia) ou wetlands, por exemplo. A utilização desse sistema minimiza problemas como escassez de água e lançamento de efluentes para o meio ambiente, além desse sistema permitir o cultivo de maiores quantidades de peixes por m³.

A utilização do biofiltro composto pelos mais diversos materiais, sistemas aquapônicos e *wetlands* apresentaram ótimo desempenho no tratamento dos efluentes provenientes de tanques de piscicultura. Esses sistemas podem ser utilizados em conjunto para aumentar a eficiência do tratamento ou até mesmo aumentar a fonte de renda ou reduzir os custos através da venda ou consumo dos vegetais produzidos.

As principais dificuldades encontradas pelos autores estão relacionadas a fatores climáticos, problemas na operação do decantador e a necessidade de maturação do sistema do tratamento para que comecessem a ter a eficiência desejada no tratamento. A utilização de termostato em ambiente que costumam ter temperaturas mais baixas é indispensável na piscicultura. Decantadores quando mal operados podem se tornar prejudicial para a piscicultura, aumentando a concentração de compostos tóxicos. A realização de estudos avaliando a eficiência de peneiras para remoção da matéria orgânica no início do tratamento é de grande importância para melhorar a eficiência no tratamento do efluente da piscicultura. A necessidade de iniciar a produção com densidades menores é essencial para que ocorra a maturação do sistema, após a maturação poderá ser introduzido mais peixes nos tanques de cultivo.

Outros estudos podem ser realizados com o objetivo de utilizar mídias ainda mais acessíveis para compor o filtro biológico, também poderão ser realizadas pesquisas visando melhorar o pré-tratamento, reduzindo os custos com investimento e reduzindo a área necessária para o tratamento biológico.

Portanto, a partir dessa revisão bibliográfica foi possível explorar as tecnologias adotadas na remoção dos compostos nitrogenados utilizando técnicas de nitrificação e desnitrificação, sendo necessária a realização de estudos constantes sobre o tema visando aumentar a produtividade da piscicultura com menores custos de operação e manutenção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, L.D.S.; TAKAHASHI, L.S.; BARBOSA, L.J.C.; MIYASAKI, C.T.; LOPES, P.R.M.; RIBEIRO, C.C.; SOUZA, C.T. Estudos sobre o cultivo de hortaliças e peixes em sistemas aquapônicos na região da Alta Paulista. In: Congresso de Extensão Universitária da UNESP (pp. 1- 5). Bauru: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2015.

AYROSA, D.M.M.R.; FURLANETO, F.P.B.; AYROSA, L.M.S. Regularização dos projetos de tanques-rede em águas públicas continentais de domínio da união no Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesca. (Boletim técnico, n. 36). 2006.

AZEVEDO, V. G.; GALLO NETO, H.; ALMEIDA, H. L. P. S.; SANCHES, E. G. Sistema de recirculação para o cultivo de peixes marinhos – Procedimento Operacional Padrão (POP), 2014. Disponível em:
<https://www.pesca.sp.gov.br/Sist_RecirculacaoCultivodePeixesMarinhos14.pdf>

BALDISSEROTTO, B. Fisiologia de peixes aplicada à piscicultura – 2. ed. – Santa Maria: Ed. Da UFSM, 2009.

BELINTANO, A. L. O.; KREUTZ, F. I.; MESSIAS, E. A.; IBANHEZ, J. R.; FERREIRA, M. W.; GUILHERME, D. O. Sistema de aquaponia em escada: estudo de caso. Pubvet, medicina veterinária e zootécnica. Universidade Católica Dom Bosco, Curso de Zootecnia, Campo Grande, MS Brasil. v.14, n.1, a500, p.1-9, Jan., 2020

BLANCHETON, J. P. Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species. Aquacultural Engineering, 2000.

BOMBARDELLI, R. A.; MEURER, F.; SYPPERRECK, M. A. Metabolismo protéico dos peixes. Arq. Ciênc. Vet. Zool. Unipar, 2003.

BRAGA, R. A.; CHACON, J. O.; GRANJEIRO, B. M. F. Alimento de *Tilapia melanopleura* Dum., 1847, em pequenos açudes nos rios Ceará e Pacoti, Estado do Ceará, Brasil (Pisces; Cichlidae). Boletim Técnico do DNOCS, Fortaleza, v. 28, n. 2, p. 31-48, jul./dez. 1970.

BUENO, G.W.; MARENGONI, N.G.; GONÇALVES JÚNIOR, A.C.; BOSCOLO, W.R.; TEIXEIRA, R.A. Estado trófico e bioacumulação do fósforo total no cultivo de peixes em tanques-rede na área aquícola do reservatório de Itaipu. Acta Scientiarum Biological Sciences, v. 30, n. 3, p. 237-243, 2008.

CANONICO, G. C.; ARTHINGTON, A.; MCCRARY, J. K.; THIEME, M. L. The effects of introduced tilapias on native biodiversity. *Aquatic Conservation: Marine Freshwater Ecosystem*, v. 15, p. 463-483, 2005.

CARNEIRO, P. C. F. *et al.* Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais. In: TAVARES- DIAS, M.; MARIANO, W.S. (Org.). *Aquicultura no Brasil: novas perspectivas*. São Carlos, Editora Pedro & João, p. 683-706, 2015.

COLT, J. Water quality requirements for reuse systems. *Aquacultural Engineering*, v. 34, n. 3, p. 143–156, maio 2006.

COMETTI, N.N. Nutrição mineral da alface (*Lactuca sativa* L.) em cultura hidropônica – sistema NFT. p. 128. Tese (Doutorado em Agronomia), UFRRJ, Seropédica, 2003.

CORTEZ, G. E. P.; ARAÚJO, J. A. C.; BELLINGIERI, P. A.; DALRI, A. B. Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alface em hidroponia. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.13, n.4, p.494–498, 2009.

CRAB, R.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, Amsterdam, v. 270, n. 1-4, p. 1-14, 2007.

DINESH, B.; RAMESH, M.; POOPAL, R.K. Effect of ammonia on the electrolyte status of an Indian major carp *Catla catla*. *Aquac Res.* 2013;44(11):1677–84.

DOMINGUES, D. S., TAKAHASHI, H. W., CAMARA, C. A. P. & NIXDORF, S. L. Automated system developed to control pH and concentration of nutrient solution evaluated in hydroponic lettuce production. *Computers and Electronics in Agriculture*, 8453-61. 2012.

DUARTE, E. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. 46p. Cultivo de pós-larvas de tilápia do Nilo utilizando diferentes proporções de substrato concha/brita no biofiltro. Orientador: Marcelo Mattos Pedreira. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). 2011.

DURBOROW, R.M.; CROSBY, D.M.; BRUNSON, M.W. Nitrite in fish ponds. *Southern Regional Aquaculture Center*, 462. 1997

ENRIQUEZ, Y.A. Remoção de nitrogênio e fósforo de efluentes da atividade piscícola em sistema fechado utilizando reatores de leito móvel com biofilme, 2018. 124 f. Tese

(Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia, UNESP – Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2018.

FRANÇA, T. C. Avaliação de Tilápias do nilo (*Oreochromis niloticus*) oriundas de duas empresas distintas. 22 p. Monografia. Uberlândia-MG, 2019.

FREDDI, L. A.; Uso de reator de biofilme aerado em membrana no tratamento de efluente de sistema de recirculação aquícola. 112p. Dissertação (Mestrado). UNESP – Ilha Solteira, 2019.

FARIA, R. H. S.; MORAES, M. Manual de criação de peixes em viveiro, Brasília. Codevasf, 2013. Disponível em: < <https://www.codevasf.gov.br/acesso-ainformacao/institucional/biblioteca-geraldo-rocha/publicacoes/manuais/manual-de-criacaode-peixes-em-viveiros.pdf>>

FARIA, R. H. S.; MORAES, M.; SORANNA, M. R. G. S.; SALLUM, W. B. Manual de criação de peixes em viveiro. Brasília, DF: Codevasf. 136 p. 2013.

FERREIRA, R. R.; CAVENAGHI, A. L.; VELINI, E. D.; CORRÊA, M. R.; NEGRISOLI, E.; BRAVIN, L. F. N.; TRINDADE, M. L. B; PADILHA, F. S. Monitoramento de fitoplâncton e microcistina no Reservatório da UHE Americana. Planta Daninha, 2005.

FERRO, T. N. Avaliação do Processo de Nitrificação e Desnitrificação de Efluente de Abatedouro Bovino em Reator Combinado Anaeróbico-Aeróbico. 2015. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

FIGUEIREDO JUNIOR, C. A.; VALENTE JUNIOR, A. S. Cultivo de Tilápias no Brasil. Origens e cenário atual. Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. Rio Branco, AC, 2008.

GARCIA, G. O., G. H. VENTURIN, R. A. CECILIO, A. A. NAZÁRIO. Remoção da carga orgânica oriunda de um sistema de rizipiscicultura pela *Bracharia de brejo* (*Bracharia subquadripara*). Revista Verde, v.4, n.1, p.54 – 63. 2009.

GODOY, M. P. Criação de peixe. Pirassununga: Estação Experimental Biology. Piscicultura, 24 p, 1959.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/18/16459?ano=2019>>. Acesso em: 29 de julho de 2021.
- KUBITZA, F. Aquicultura de tilápias no mundo e no Brasil. IN: KUBITZA, F. Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial. 2ª Edição. Jundiaí, 2011.
- KUBITZA, F.; CAMPOS, J. L.; ONO, E. A.; ISTCHUK, P. I. Particularidades regionais da piscicultura: custos de produção, preços de venda e os gargalos que limitam a expansão dos cultivos. Panorama da Piscicultura no Brasil. Vol. 22, nº 134. Jundiaí, 2012.
- KUBITZA, F. Sistemas de Recirculação: sistemas fechados com tratamento e reúso da água. Panorama da Aquicultura, Rio de Janeiro, v. 16, n. 95, p. 15-22, 2006.
- LOVE, D. C.; FRY, J. P.; GENELLO, L.; HILL, E. S.; FREDERICK, J. A.; LI, X. & SEMMENS, K. An international survey of aquaponics practitioners. PloS One, 2014.
- LOVSHIN, L. L. Tilapia farming: a growing worldwide aquaculture industry. In: Simpósio sobre manejo e nutrição de peixes, 2. Piracicaba: CBNA, p.137-164, 1997.
- MANNING, C. G.; FOSTER, S. J.; VICENT, A. C. J. Uma revisão das dietas e comportamentos alimentares de uma família de peixes marinhos biologicamente diversos (Família Syngnathidae). Review in Fish Biology and Fisheries, p. 1-25, 2019.
- MARENGONI, N.G. Reversão sexual & cultivo de tilápia – módulo VI. In: Curso de formação em piscicultura, 2., 1999, Presidente Prudente. Presidente Prudente, 1999.
- MEDEIROS, F. C.; MORAIS, A. J. COMO INICIAR PISCICULTURA COM ESPÉCIES REGIONAIS: Saiba como obter lucros criando peixes nativos das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Brasília: Athalaia Gráfica e Editora Ltda, 2013. 80 p. Sebrae.
- METCALF, L.; EDDY, H. P. Wastewater engineering treatment and Resource Recovery. 5. ed. New York: McGraw Hill, p. 1408, 2014.
- MOLINA, J. B. Evaluación de la eliminación de materia orgánica y nitrógeno de las aguas residuales en un reactor biopelícula de membrana tubular aireada. Tese (Doutorado) - Universidade de Corunã, Corunã, 2015.

OLIVEIRA, R. C. A. Monitoramento de fatores físicoquímicos de represas utilizadas para criação de *Colossoma macropomum* no Município de Carlinda, Mato Grosso. Ciências Agrárias. Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta, Mato Grosso. 2001.

OLIVEIRA, R. D. Efeitos da temperatura nas respostas cardio-respiratórias e na respiração aérea acessória de jeju, *Hoplerythrinus unitaeniatus* (Erythrinidae) aclimatação a 15, 20, 25 e 30°C e submetidos a variações de O₂ ambiental. [Tese de Doutorado]. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 2003.

PEIXES BR. Anuário Brasileiro da Piscicultura Peixes BR 2019. Associação Brasileira de Piscicultura, 2021.

PIEDRAS, S. R. N.; MORAES, P. R. & POUHEY, J. L. O. F. Desempenho de juvenis de catfish (*Ictalurus punctatus*) em diferentes temperaturas. R. Bras. Agrocência. 2006

RAKOCY, J. E.; HARGREAVES, J. A. Integration of vegetable hydroponics with fish culture: a review. In.: *Techniques for Modern Aquaculture – Aquacultural Engineering Conference*, Spokane. Proceedings... Spokane: ASAE, 1993.

RAKOCY, J.E.; MASSER, M.P.; LOSORDO, T.M. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics – integrating fish and plant culture. SRAC Publication , v.454, p.1-16, 2006.

REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d'água. *Eng Sanit Ambient* . v.14 n.3, 2009

RIGO, C.D. Avaliação de desempenho entre substrato e um sistema de aquaponia com tilápias (*Oreochromis niloticus*) para o cultivo de alface (*Lactuca sativa*) e chicória (*Cichorium intybus*). Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2017.

ROSSO, F. L.; BOLNER, K. C. S. & BALDISSEROTTO, B. Ion fluxes in silver catfish (*Rhamdia quelen*) juveniles exposed to different dissolved oxygen levels. *Neotropical Ichthyology*, 2006.

ROTTA, M. A. Aspectos Gerais da Fisiologia e Estrutura do Sistema Digestivo dos Peixes Relacionados à Piscicultura. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003.

RUSTEN, B. *et al.* Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. *Aquacultural Engineering*, v. 34, n. 3, p. 322–331, 2006.

SENAR, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. *Piscicultura: manejo da qualidade da água.* / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. – Brasília. 52 p.; il. 21 cm (Coleção Senar, 262), 2019.

SCHIMDT-NIELSEN, K. *Fisiologia Animal: Adaptação e meio ambiente.* 5ª edição. São Paulo, Editora Santos. 2002.

SILVA, G. F.; MACIEL, L. M.; DALMASS; M. V.; GONÇALVES, M. T. TILÁPIA-DONILO Criação e cultivo em viveiros no estado do Paraná, Curitiba: GIA, 2015

SILVA, M. S. G. M.; LOSEKANN, M. E.; HISANO, H. *Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes* / Mariana Silveira Guerra Moura e Silva; Marcos Eliseu Losekann; Hamilton Hisano – Jaguariúna, SP : Embrapa Meio Ambiente. 39 p. — (Documentos / Embrapa Meio Ambiente; 95), 2013.

SILVA, M. S. G. M. *Desenvolvimento de um sistema de recirculação com uso de wetlands construídas para efluentes da piscicultura.* Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola - Campinas, SP: [s.n.], 2012

SIPAÚBA-TAVARES, L.H. *Limnologia dos sistemas de cultivo.* In: *Carcinicultura de água doce.* São Paulo: FUNEP. p.47-75. 1998.

SOMERVILLE, C.; COHEN, M.; PANTANELLA, E.; STANKUS, A.; LOVATELLI, A. *Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming.* FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Rome, FAO. 262 pp. 2014

SOUSA, J. T.; VAN HAANDEL, A. C.; GUIMARÃES, A.V. A. Performance of constructed wetland systems treating anaerobic effluents. *Water Science and Technology*, v.48, n.6, p. 295-299, 2003.

SOUSA, J. T.; VAN HAANDEL, A. C.; LIMA, E. P. C.; HENRIQUE, I. N. *Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB.* *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 285-290. 2004.

TYSON, R. V.; SIMONNE, E. H. & TREADWELL, D. D. Reconciling pH for ammonia biofiltration in a cucumber/tilapia aquaponics system using a perlite medium. Hort Science, 43, 719-724. 43719724. 2008.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

WORLD FISH CENTER. *Oreochromis niloticus*. Disponível em:

<<http://www.fishbase.org/photos/PicturesSummary.php?ID=2&what=species>>, acessado em 22/08/2011.