

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 15/02/2020.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Berçário de tilápia em sistema aquapônico
utilizando a tecnologia de bioflocos**

Sara Mello Pinho

Jaboticabal, São Paulo

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**Berçário de tilápia em sistema aquapônico
utilizando a tecnologia de bioflocos**

Sara Mello Pinho

Orientadora: Dra. Maria Célia Portella

Coorientador: Dr. Maurício G. C. Emerenciano

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura do Centro de Aquicultura da UNESP - CAUNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Jaboticabal, São Paulo
2018

Pinho, Sara Mello
P654b Berçário de tilápia em sistema aquapônico utilizando a tecnologia de bioflocos / Sara Mello Pinho. -- Jaboticabal, 2018
101 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2018
Orientadora: Maria Célia Portella
Coorientador: Maurício Gustavo Coelho Emerenciano
Banca examinadora: João Batista Kochenborger Fernandes, Nilton Eduardo Torres Rojas
Bibliografia

1. Tilapicultura. 2. Integração. 3. Viabilidade econômica. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 639.3.043

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Unidade Complementar - Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Berçário de tilápia em sistema aquapônico utilizando a tecnologia de bioflocos

AUTORA: SARA MELLO PINHO

ORIENTADORA: MARIA CÉLIA PORTELLA

COORIENTADOR: MAURÍCIO GUSTAVO COELHO EMERENCIANO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AQUICULTURA, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. MARIA CÉLIA PORTELLA
Biol Aplicada a Agrop / FCAV, Campus de Jaboticabal / UNESP

Prof. Dr. JOÃO BATISTA KOCHENBORGER FERNANDES
Laboratório de Peixes Ornamentais / Centro de Aquicultura - CAUNESP

Pesquisador NILTON EDUARDO TORRES ROJAS
. / Instituto de Pesca, São José do Rio Preto-SP

Jaboticabal, 15 de fevereiro de 2018

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	04
Apoio financeiro.....	05
Resumo.....	06
Abstract.....	07
1. Introdução geral.....	08
2. Objetivos	17
3. Hipótese.....	18
4. Artigo 1: Production of Nile tilapia juveniles and lettuce in an aquaponic system using biofloc technology.....	19
5. Artigo 2: Crescimento muscular e composição corporal de juvenis de tilápia cultivados em aquaponia utilizando a tecnologia de bioflocos.....	47
6. Artigo 3: Economic comparison between clear water and biofloc technology for the aquaponic production.....	69
7. Considerações finais.....	90
8. Referências Introdução geral.....	91
9. Anexos.....	99

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos que auxiliaram de alguma forma para o desenvolvimento do presente trabalho. Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pela bolsa de mestrado (Processo nº 2016/14966-2).

Agradeço aos meus pais, por terem sempre acreditado em mim e me encorajado com muito amor a seguir adiante. Vocês são os melhores guias da vida que eu poderia ter.

A minha orientadora profa. Maria Célia Portella, por ter aceitado o desafio de coordenar este projeto. Agradeço também pela sua confiança, orientação e ensinamentos durante os dois anos de trabalho em conjunto. Ao meu coorientador prof. Maurício Emerenciano, por sempre me estimular a querer fazer mais e melhor, pelas portas abertas e por todas as contribuições para a conclusão desse projeto. Ambos são profissionais e pessoas incríveis e sou muito grata por ter a oportunidade de fazer parte dos grupos de trabalho de vocês.

A minha família e amigos, obrigada por todo apoio e carinho. Em especial, agradeço ao meu companheiro Luiz Henrique C. David pela amizade, amor, paciência, dedicação e ajuda. Obrigada por me dar suporte em todas as minhas decisões pessoais e profissionais.

A professora Dra. Renata G. Moreira (LAMEROA-USP), por aceitar tão prontamente em colaborar com este trabalho. Ao prof. Kwamena Quagraine (Department of Agricultural Economics – Purdue University), por ter supervisionado meu estágio na Purdue, compartilhando conhecimento e dedicando seu tempo para auxiliar na análise econômica. Agradeço também ao Roberto Flores, por toda ajuda e, principalmente, pela amizade.

Aos integrantes (professores, alunos e ex-alunos) dos grupos: LARVita – Unesp, LANOA- Unesp, ABCN – UDESC e LAQ-UDESC; pelas contribuições, ensinamentos e amizade, muitos de vocês tornaram as rotinas dos laboratórios e do experimento mais produtivas e agradáveis. Agradeço principalmente aqueles que ajudaram ativamente nas coletas, análises e na interpretação dos dados.

A todos vocês, muito obrigada.

APOIO FINANCEIRO

FAPESP, Bolsa de Mestrado, Processo nº 2016/14966-2.

RESUMO

Empregar a tecnologia de bioflocos na produção aquapônica, integrando o cultivo de alface com o berçário de tilápia, parece ser uma alternativa para solucionar a problemática relacionada ao abastecimento de juvenis de tilápia à engorda, por meio de sistemas de produção responsáveis, menos impactantes em termos ambientais e economicamente viáveis. Além disso, o consumo dos agregados microbianos dos bioflocos pelos peixes poderá possibilitar a produção de juvenis diferenciados e com condições nutricionais desejáveis. Sabendo disso, foi proposto avaliar a produção aquapônica de juvenis de tilápia (~ 1 até 30 g) e alface lisa utilizando a tecnologia de bioflocos. Foram avaliados dois tipos de tecnologias aquícolas: recirculação de água clara (CW, ou controle) e bioflocos (BFT), com três repetições cada. O experimento foi executado durante 46 dias, divididos em dois ciclos de produção de alface (23 dias cada) e um ciclo de produção de juvenis de peixe. Buscou-se relacionar os dados de desempenho produtivo com análises zootécnicas e fitotécnicas; das características visuais das plantas; das concentrações dos nutrientes que entram e saem dos sistemas; bem como com avaliações morfológicas e morfométricas das fibras musculares e da composição centesimal dos peixes cultivados. Análise de viabilidade econômica também foi realizada, avaliando quatro cenários: dois levando em conta a porcentagem de alfaces comercializáveis encontradas no experimento pelo índice de qualidade da planta (BFT: 37% e CW: 98% do total) e outros dois, considerando uma produção hipotética em que todas as alfaces produzidas apresentam qualidade para serem vendidas. Os resultados mostraram melhor desempenho produtivo dos peixes cultivados em BFT. Os dados da trajetória de crescimento em peso, crescimento das fibras musculares e composição centesimal dos peixes mostraram resultados similares entre CW e BFT. Enquanto que para as plantas, o tratamento CW no ciclo 2 foi o que apresentou melhores resultados fitotécnicos e visuais. A análise econômica indicou que é viável a produção aquapônica utilizando CW ou BFT, desde que neste último o mínimo de 63,5% das plantas produzidas seja visualmente aptas para comercialização. De maneira geral, os resultados sugerem que a integração do BFT com a aquaponia poderá ser viável somente a partir do desenvolvimento de mecanismos que possibilitem diminuir o acúmulo de sólidos nas raízes e melhorar a absorção dos nutrientes pelas plantas.

Palavras-chave: tilapicultura, hidroponia, integração, nutrição, viabilidade econômica.

ABSTRACT

The use of biofloc technology in aquaponic production, integrating lettuce production with tilapia nursery, seems to be an alternative to solve the problems related to the supply of juveniles for the grow-out stage, by means of responsible, less environmentally impacting and economically feasible production systems. Besides, consumption of the microbial aggregates present in the biofloc may enable the production of differential juveniles, with desired nutritional conditions. In this sense, this study aimed at evaluating the aquaponic production of tilapia juveniles (~ 1 to 30 g) and lettuce, using biofloc technology. For this purpose, two aquaculture technologies were studied: clear water recirculation (CW, or control) and biofloc (BFT), with three replicates each. The experiment was carried out for 46 days, with two cycles of lettuce production (23 days each) and one cycle of juvenile production. We sought to relate the productive performance data with zootechnical and phytotechnical analyzes; visual characteristics of plants; concentration of nutrients entering and leaving the system; as well as morphological and morphometric analyzes of muscle fibers and centesimal composition of fish. An economic feasibility analysis was also performed, considering four scenarios: two considering the percentage of commercially available lettuce found in the experiment, by the plant quality index (BFT: 37% and CW: 98% of the total) and two others, considering a hypothetical production in which all produced lettuces had good quality to be commercialized. Results showed better productive performance of fish reared in BFT. The data of the growth trajectory in weight, muscle fibers and centesimal composition of fish were similar between CW and BFT. Conversely, for the plants, the treatment CW in the second cycle presented the best phytotechnical and visual results. The economic analysis indicated that the aquaponic production is feasible using both CW and BFT, provided that in BFT a minimum of 63.5% of produced plants are visually suitable for marketing. Generally, the results suggest that the integration BFT with aquaponics may be feasible only through the development of mechanisms that enable reduced accumulation of solids in the roots, thus improving the absorption of nutrients by the plants.

Keywords: tilapia farming, hydroponics, integration nutrition, economic feasibility.

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. *Tilapicultura no Brasil*

A piscicultura continental representa mais de dois terços da produção aquícola brasileira. Estima-se que em 2016 foram produzidas, aproximadamente, 507 mil toneladas de peixes de água doce no Brasil, movimentando cerca de R\$ 3,26 bilhões (IBGE, 2017). Entre as principais espécies cultivadas, a tilápia destaca-se devido, principalmente, às boas taxas de crescimento, rusticidade, domínio da reprodução e mercado consolidado (Watanabe et al., 2012). Em 2016 a tilapicultura contribuiu com aproximadamente 239 mil toneladas de peixes despescados (IBGE, 2017), grande parte desse volume provém de tanques-rede alocados em grandes reservatórios da União (Leonardo et al., 2009). No entanto, diversos desafios são apontados para garantir o crescimento da atividade, dentre eles, a obtenção de juvenis de boa qualidade (Ayroza et al., 2011). Neste sentido, o berçário, ou a produção de juvenis de 30 g (comercialmente chamado de “alevinão”), é uma etapa extremamente importante, pois permite oferecer à engorda peixes com tamanho adequado para povoamento nas estruturas produtivas. Além disso, a segmentação da produção, principalmente a separação do berçário da engorda, possibilita maior controle de enfermidades, eficiência produtiva e gestão do escalamento do cultivo (Little et al., 2003). Embora seja dominada por cultivos monofásicos, a utilização de berçários ou cultivos multifásicos já é uma realidade na piscicultura brasileira. Em 2016, houve incremento de 14% na produção nacional de juvenis em relação ao ano anterior (IBGE, 2017), cultivados principalmente em viveiros escavados e hapas.

Outro desafio enfrentado pela tilapicultura é o fato que os cultivos tradicionais, quando manejados de forma incorreta, podem provocar problemas ambientais e econômicos. Por exemplo, pode-se citar a descarga de efluentes ricos em nutrientes dos cultivos em viveiros escavados (Abimorad et al., 2009); ou ainda a disseminação de patógenos e acúmulo de material orgânico em regiões utilizadas pelos cultivos em tanques-rede (Salvador et al., 2003). Por causa disso, é crescente o interesse na aplicação de manejos ou sistemas que visem atingir elevadas produtividades com mínimo impacto ambiental (Martins et al., 2010; Rijn, 2013). Somado a isso, o panorama atual de secas, o aumento no custo das terras e a necessidade de cultivos urbanos e próximos ao mercado consumidor, fazem com que produtores e pesquisadores busquem alternativas para a

produção de alimentos, tais como os sistemas de bioflocos e a aquaponia (Emerenciano et al., 2015).

1.2. Bioflocos

A tecnologia de bioflocos ou “BFT” (do inglês “*Biofloc Technology*”) foi desenvolvida na década de 1970 pelo IFREMER-COP (Instituto Francês de Investigação para a Exploração do Mar, Centro Oceanográfico do Pacífico), tendo como principal característica a troca mínima ou nula de água e o crescimento de comunidades microbianas específicas (Emerenciano et al., 2013). Inicialmente aplicado na carcinicultura, hoje o BFT também está presente na tilapicultura, havendo aumento expressivo das pesquisas publicadas sobre tilápia em BFT a partir de 2006 (Figura 1).

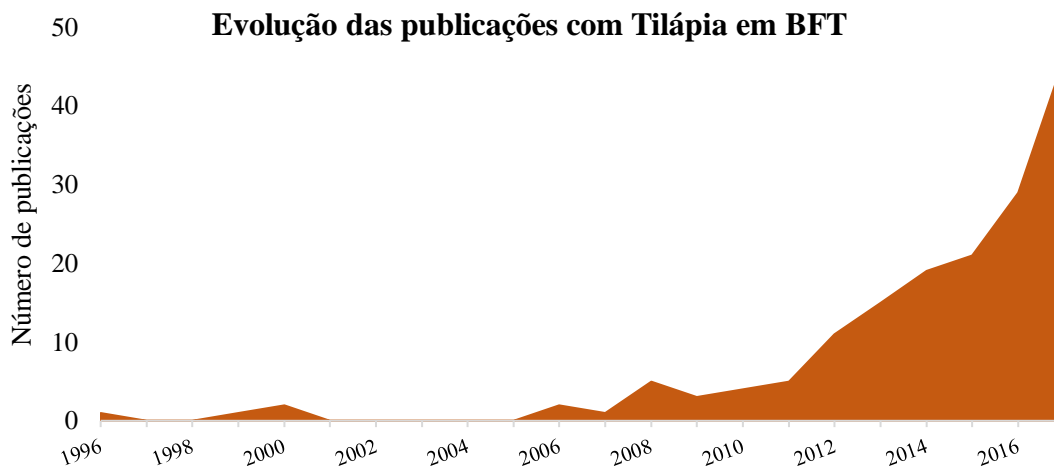


Figura 1. Resultado da busca na plataforma Scopus, com a palavra-chave “*tilapia biofloc*”, mostrando a evolução dos artigos publicados em periódicos científicos.

Nas unidades produtivas, para fomentar a microbiota desejada, estimula-se o crescimento de bactérias heterotróficas via manipulação da relação carbono:nitrogênio (C:N) entre 12 a 20:1, forte aeração e movimentação constante da água (Crab et al., 2012; Avnimelech, 2015). Esta microbiota, por sua vez, confere maior estabilidade ao sistema, incorporando a amônia excretada pelos organismos cultivados em biomassa bacteriana, fomentando a “alça microbiana” (Thompson et al., 2002; Ray et al., 2010; Crab et al., 2012). Além das bactérias heterotróficas, bactérias quimioautotróficas e organismos planctônicos, principalmente microalgas, protozoários e rotíferos, são também

constantemente relatadas nos cultivos de tilápia em BFT e auxiliam na ciclagem dos nutrientes (Martínez-Córdova et al., 2014). No entanto, o perfil da microbiota dos flocos pode apresentar grande variação, devido a fatores como a espécie produzida e seu hábito alimentar, fonte de carbono utilizada, condições ambientais de cultivo e interação ou competição com outros microrganismos (Martínez-Córdova et al., 2014; Luo et al., 2017).

Mesmo com as variações do perfil das comunidades, de maneira geral, os agregados microbianos do BFT são ricos em nutrientes, como proteínas, aminoácidos essenciais, ácidos graxos e vitaminas, e complementam a dieta alimentar dos peixes cultivados (Ju et al., 2008; Wei et al., 2016; Bossier e Ekasary, 2017). Em razão da presença desses organismos, a tecnologia de bioflocos proporciona vários benefícios a produção aquícola, tais como i) disponibilidade contínua de alimento natural e consequente melhoria da conversão alimentar; ii) aumento do controle e biossegurança dos cultivos; iii) menor dependência de grandes volumes de água para produção; iv) manutenção da qualidade da água, principalmente em relação aos compostos nitrogenados; v) melhora na saúde do animal, pela competição biológica com patógenos e a consequente inibição da atuação destes (Emerenciano et al., 2017). O consumo da rica microbiota disponível no BFT pode proporcionar também juvenis diferenciados (Bossier e Ekasary, 2017). A disponibilidade constante de alimento natural, além de complementar as demandas nutricionais (Martínez-Córdova et al., 2014), poderá alterar o desenvolvimento muscular dos peixes cultivados. Isto porque, o manejo alimentar pode ocasionar alterações nos padrões de hipertrofia (aumento no volume) e hiperplasia (formação de novas fibras) das fibras musculares, especialmente nas fases iniciais de cultivo (Johnston, 2006; Almeida et al., 2008; Kojima et al., 2015), podendo levar a efeitos nas fases posteriores de criação, ou seja, proporcionar peixes diferenciados devido ao maior potencial de crescimento muscular futuro (Valente et al., 2013). No entanto, ainda não está elucidado o efeito da produtividade primária dos sistemas de bioflocos na ativação dos processos de crescimento das fibras musculares.

O cultivo de tilápias em bioflocos tem inúmeras vantagens e estas refletem na melhora do desempenho zootécnico do animal. Azim e Little (2008) relatam produção de tilápia 45% superior em BFT em relação aos tanques de água clara e, por sua vez, Luo et al. (2014) obtiveram redução na conversão alimentar de juvenis de tilápia de 1,47 para 1,20, comparando sistema de bioflocos ao de água clara. Na Tabela 1 estão apresentados alguns resultados zootécnicos registrados na literatura para juvenis de tilápia-do-nilo

(*Oreochromis niloticus*) em BFT. Nota-se que os valores de sobrevivência, conversão alimentar (CA) e taxa de crescimento específico (TCE) para a fase de berçário são, na maioria dos casos, próximos a 80%, 1,0 e 3,7% dia⁻¹, respectivamente (Zhang et al., 2016; Brol et al., 2017; Martins et al., 2017; Miranda-Baeza et al., 2017). Observa-se também grande variação entre os resultados, podendo estar relacionada a fatores como o manejo alimentar, densidade de estocagem e peso inicial, mas também as condições ambientais ou as diferenças no aporte de alimento complementar (flocos microbianos).

Tabela 1. Revisão dos resultados zootécnicos mais recentes de juvenis de tilápia-do-nylo cultivados em sistema de bioflocos.

Referência	Peso inicial (g)	Densidade (peixes m ⁻³)	Duração (dias)	Manejo alimentar*	Resultados zootécnicos		
					SOB (%)	CA	TCE (% dia ⁻¹)
Luo et al. (2014)	24,2	330	87	2% PV 3x dia 44% PB	100	1,20	2,13
Long et al. (2015)	50,6	60	56	3% PV 2x dia 46% PB	100	0,83	2,04
Pérez-Fuentes et al. (2016)	38,4	75	120	3% PV 2x dia 45% PB	85 - 95	1,02 - 1,14	1,49 - 1,65
Zhang et al. (2016)	13,6	240	120	2% PV 3x dia 30% PB	81	0,85	2,25
Brol et al. (2017)	3,1	400 e 800	42	Saciedade 3x dia 45% PB	73 - 87	1,21 - 1,29	4,46 - 4,51
Mansour e Esteban (2017)	48	42	70	3% PV 2x dia 20 a 30% PB	98 - 100	1,72 - 1,80	1,02 - 1,05
Martins et al. (2017)	3,7	25	60	15 a 4% PV 4x dia 45 a 40% PB	80 - 81	1,10 - 1,18	5,31 - 5,45
Miranda-Baeza et al. (2017)	14,5	20	35	Saciedade Não informado 55% PB	98 - 72	1,35 - 1,85	2,77 - 3,17
Pinho et al. (2017a)	70,0	80	21	5% PV 3x dia 22% PB	95	1,87	1,88

* Taxa de alimentação (% peso vivo), frequência alimentar (vezes por dia) e concentração de proteína bruta (% PB) nas dietas.

Mesmo que o BFT esteja sendo amplamente empregada para intensificação aquícola (Bossier e Ekasary, 2017), ele apresenta entraves. A necessidade constante de energia elétrica, monitoramento frequente dos parâmetros físico-químicos da água e mão-de-obra especializada são alguns exemplos. Além disso, a baixa renovação de água e as altas densidades empregadas (Crab et al., 2012; Avnimelech, 2015) podem gerar grande concentração de nutrientes nas águas do cultivo (Quintã et al., 2015), prejudicando sua qualidade e a eficiência da produção. Neste sentido, a produção vegetal em um sistema aquapônico integrado ao cultivo de juvenis de tilápia em BFT pode ser uma alternativa para minimizar estes problemas (Buhmann et al., 2015; Pinho et al., 2017a).

1.3. Aquaponia

A técnica consiste na integração do sistema de recirculação aquícola (cultivo intensivo de organismos aquáticos) com a hidroponia (cultivo de plantas terrestres em solução aquosa) (Rakocy, 2012). Esta técnica é possível via um sinergismo com os microrganismos presentes no sistema, os quais convertem os efluentes aquícolas, principalmente de amônia para nitrato, em nutrientes para as plantas (Tyson et al., 2011; Ru et al., 2017). Com isso os nutrientes residuais do cultivo de peixes são naturalmente transformados em produtos absorvíveis pelas plantas, gerando um subproduto comercial de valor agregado, ao mesmo tempo que mantem a qualidade da água (Endut et al., 2010; Moya et al., 2014) (Figura 2).

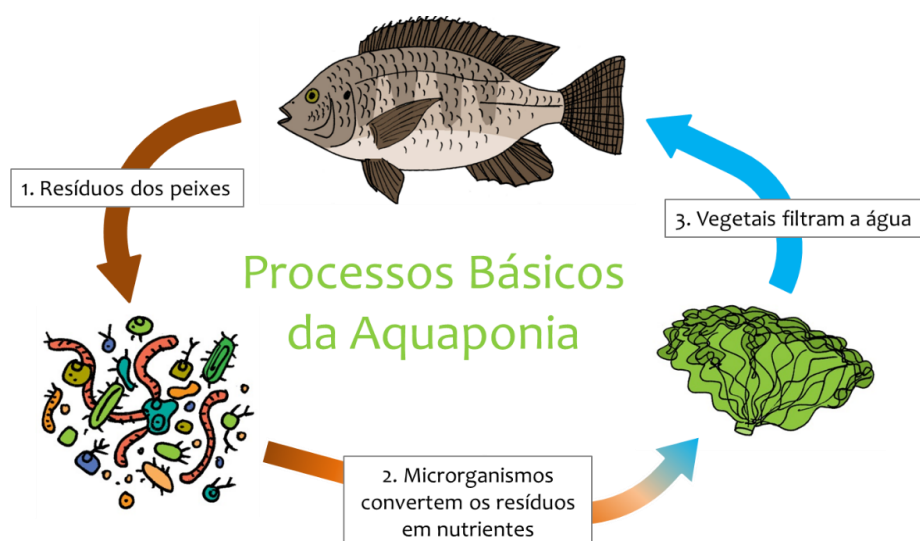


Figura 2. Ilustração dos processos básicos que ocorrem em sistemas aquapônicos.

Desde 1970, pesquisadores da Universidade das Ilhas Virgens Americanas, em especial o Dr. James Rakocy, já testavam plantas como filtros naturais na aquicultura, desenvolvendo os primeiros conceitos e dimensionamentos básicos da aquaponia moderna (Goddek et al., 2015; Emerenciano et al., 2015). Atualmente, em virtude das várias vantagens (Tabela 2), a aquaponia é reconhecida como uma prática mais sustentável para produção de peixes e plantas (Goddek et al., 2015; Forchino et al., 2017). É praticada tanto em escala “hobbie”, em ambientes pequenos e familiares, como em grandes estruturas com fins comerciais. Em escala comercial o objetivo na maioria das vezes é conquistar o público que reconheça o caráter ecológico dos produtos e que esteja disposto a pagar mais pelo valor agregado (Edwards, 2015).

Tabela 2. Principais vantagens e desvantagens do sistema de aquaponia (adaptado de Emerenciano et al., 2015).

Vantagens	Desvantagens
Uso racional da água	Tecnologia pouco difundida no Brasil
Alta produtividade de peixes e vegetais	Dependência contínua de energia elétrica
Produtos livres de agrotóxicos e antibióticos (valor agregado)	Necessidade de mão-de-obra especializada (peixes e plantas)
Aproveitamento praticamente integral da ração	Custos de implantação relativamente elevados
Possibilidade de produção em zonas áridas e centros urbanos	Necessidade de condições ambientais iguais para peixes e plantas
Diversidade na produção (menores riscos com a flutuação do mercado)	Necessidade de controle e monitoramento constante
Baixo risco de introdução de espécies exógenas ao cultivo	
Instrumento de educação em escolas e inclusão social	

Apesar de todas essas vantagens que os sistemas aquapônicos podem apresentar, o investimento para a implantação é alto em comparação às estruturas tradicionais aquícolas, principalmente devido a adição das bancadas hidropônicas e dos sistemas de filtragem (Tokunaga et al., 2015; Bosma et al., 2017). A bancada ou estrutura hidropônica representa o local onde as plantas são distribuídas, para que tenham contato com a água e conseqüentemente com os nutrientes (Rakocy, 2012). Existem três principais modelos de aquaponia, caracterizados pelo tipo de bancada hidropônica, conhecidas como: substrato semi-seco, NFT (do inglês “*Nutrient Film Technology*”) e bandejas flutuantes (Emerenciano et al., 2015). Este último, também conhecido como sistema *floating*, é o mais utilizado em escalas comerciais pela facilidade no plantio e colheita, por possuir melhor custo-benefício de implantação e apresentar menores variações dos parâmetros de qualidade de água (Lennard e Leonard, 2006). Os filtros, mecânicos e biológico, por sua vez, são os mesmos característicos da produção aquícola intensiva em recirculação (Lekang, 2007) e devem ser dimensionados corretamente para que haja melhor aproveitamento dos nutrientes pelas plantas.

Um ponto importante para o sucesso da aquaponia, muitas vezes visto como um entrave, é a busca pelo equilíbrio entre as condições abióticas do sistema, de forma a maximizar o desempenho dos organismos cultivados. As condições ambientais, tais como temperatura, pH e concentração dos minerais na água, devem estar dentro ou o mais próximo possível das faixas ótimas para o desenvolvimento das plantas, peixes e microrganismos (Goddek et al., 2015). Para isso, o entendimento da relação entre eles e a escolha correta das espécies a serem cultivadas são fundamentais (Knaus e Palm, 2017). Entre os organismos aquáticos, a maior parte dos trabalhos científicos e empresas especializadas sugerem o uso das tilápias (Dediu et al., 2012; Love et al., 2015). Entretanto, outras espécies também aparecem com potencial para serem utilizadas na aquaponia, como o bagre africano (Endut et al., 2010; Palm et al., 2014), as carpas (Haque et al., 2015; Shete et al., 2017), truta arco-íris (Forchino et al., 2017), robalo europeu (Nozzi et al., 2016), pacu (Pinho et al., 2017b) ou até mesmo os camarões branco do pacífico (Pinheiro et al., 2017) e gigante da Malásia (Sace e Fitzsimmons, 2013). Em relação as plantas, mais de 150 espécies de vegetais demonstraram bons resultados ao serem cultivados na aquaponia (FAO, 2014). Al-Hafedh et al. (2008) e Love et al. (2015) citam que flores, frutos e ervas aromáticas (temperos) são cultivados no sistema aquapônico com sucesso. No entanto, hortaliças folhosas como a alface (*Lactuca sativa*)

são as mais indicadas pois possuem boa aceitação de mercado, rápido crescimento, baixo requerimento nutricional e excelente adaptação ao sistema (Diver, 2006; Rakocy, 2012; Sala e Costa, 2012). Normalmente, todos os nutrientes exigidos pelas alfaces são encontrados em níveis adequados na água de cultivo, podendo alcançar o mesmo desempenho que as cultivadas na hidroponia ou, quando os cultivos aquapônicos são suplementadas com minerais, apresentar índices produtivos superiores aos da alface hidropônica (Delaide et al., 2016).

1.4. Bioflocos x Aquaponia

A aquaponia poderia se tornar mais eficiente ao beneficiar-se do "pool microbiano" através do aproveitamento dos efluentes dos sistemas de bioflocos (Emerenciano et al., 2013). Entretanto, poucos são os relatos da integração da aquaponia com o BFT. Em estudo recente, Pinho et al. (2017a) relatam que três variedades de alface (lisa, crespa e roxa) apresentaram melhores desempenhos ao serem cultivadas utilizando o efluente do cultivo de tilápia em BFT, em comparação ao sistema de recirculação em água clara. No entanto, embora tenha um forte caráter inovador e seja o primeiro relato sobre a integração entre ambas tecnologias para tilápia e alface, o curto período do estudo provavelmente não refletiu uma situação real de cultivo, quando o floco já esteja maduro ou estabelecido. Portanto, faz-se necessário estudos mais aprofundados sobre a utilização da tecnologia de bioflocos na produção aquapônica, visto que esta integração parece ser uma alternativa interessante. Isto porque, considera-se que a integração entre as duas tecnologias permite produzir uma grande biomassa de peixes e plantas em pequenos espaços, com menos impacto ambiental que os monocultivos tradicionais (Emerenciano et al., 2015). Além disso, o emprego do BFT na produção de alface aquapônica pode não só potencializar a produção dos peixes (Emerenciano et al., 2013), mas também fazer com que a comunidade microbiana presente nesta tecnologia melhore a disponibilidade ou auxilie na absorção dos nutrientes pelas plantas (Pinho et al., 2017a). Como resultado, além do incremento de renda em função do valor ecológico agregado, a integração também poderá contribuir para aumentar a oferta de juvenis diferenciados no mercado (Bossier e Ekasary, 2017), impulsionando o elo seguinte da cadeia produtiva, ou seja, a engorda, (Figura 3).

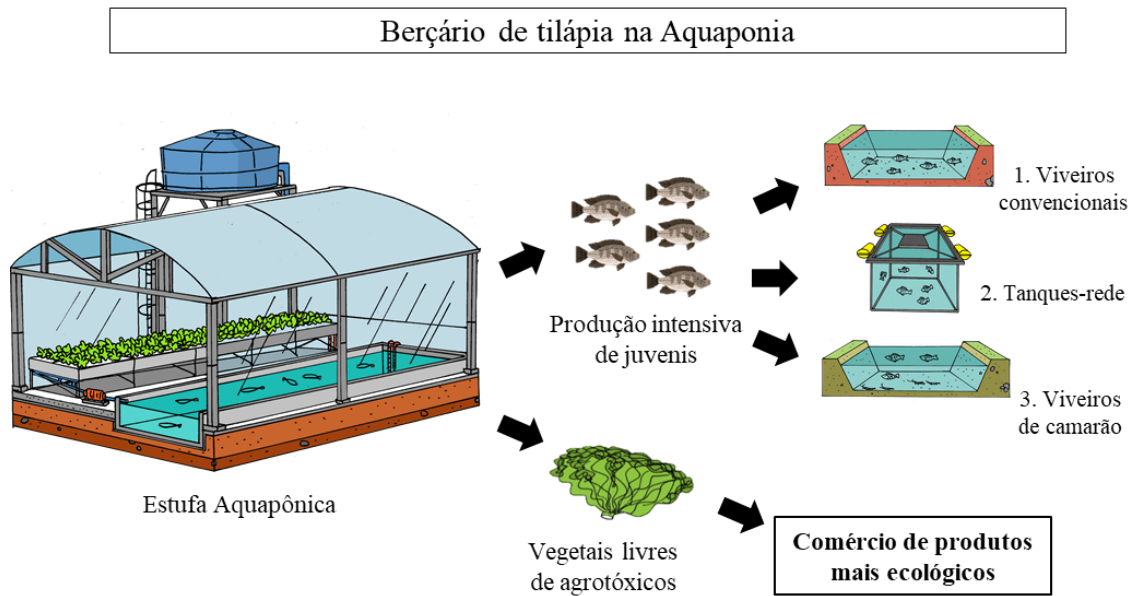


Figura 3. Representação do emprego da tecnologia de bioflocos na produção aquapônica de juvenis de tilápia, visando o povoamento das estruturas de engorda além do incremento da renda com a comercialização de vegetais sem agrotóxicos.

Empregar a tecnologia de bioflocos na produção aquapônica, integrando o cultivo de alface com o berçário de tilápia (~ 1 g até 30 g), parece ser uma ótima alternativa para solucionar a problemática relacionada ao abastecimento de juvenis de tilápia à engorda, por meio de sistemas de produção responsáveis, menos ambientalmente impactantes e economicamente viáveis. É oportuno salientar que o desenvolvimento de novas tecnologias é importante para consolidar a produção intensiva e ambientalmente responsável de tilápias. Além disso, integrar a aquicultura com a produção de vegetais é uma alternativa economicamente interessante, visto que as plantas podem representar até 80% dos lucros da produção (Emerenciano et al., 2015; Tokunaga et al., 2015). Pelo exposto, torna-se fundamental o correto entendimento entre o desempenho produtivo dos peixes e das plantas, a dinâmica dos nutrientes no sistema, a qualidade dos juvenis cultivados e a viabilidade econômica da integração, de forma a avaliar se a integração do sistema BFT e aquapônico é viável.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições do presente estudo, conclui-se que a aplicação da tecnologia de bioflocos na produção aquapônica possibilita melhora dos parâmetros zootécnicos dos juvenis de tilápia-do-nilo. No entanto, quando maduro, prejudica o desempenho fitotécnico e as características visuais das alfaces. Além disso, os peixes cultivados nos sistemas de bioflocos e água clara apresentam semelhanças nas curvas de crescimento, condições nutricionais (composição centesimal e de ácidos graxos na carcaça) e nos padrões morfológico e morfométrico das fibras musculares. Quanto à análise de viabilidade econômica, esta indica que é viável a produção utilizando CW ou BFT, desde que, neste último, o mínimo de 63,5% das plantas produzidas seja visualmente aptas para comercialização. Desta maneira, a integração só será tecnicamente e economicamente viável se mecanismos e alterações na engenharia do sistema forem desenvolvidos para melhorar o desempenho das plantas e a disponibilidade de alimento natural para os peixes.

Recomendações para futuras investigações:

- Testar a frequência e os mecanismos de utilização do sedimentador em sistemas de bioflocos na aquaponia, com ênfase na diminuição dos sólidos sedimentáveis (bioflocos) na bancada hidropônica;
- Testar o emprego da tecnologia de bioflocos em aquapônia com adoção dos sistemas desacoplados ou DAPS (do inglês “*Decoupled Aquaponic Systems*”);
- Realizar estudos mais avançados sobre a relação dos microrganismos dos bioflocos com a biodisponibilidade dos nutrientes para as plantas;
- Aplicar métodos e ferramentas para mensurar o real caráter sustentável da integração da tecnologia de bioflocos na aquaponia.

8. REFERÊNCIAS INTRODUÇÃO GERAL

- Abimorad, E.G., Strada, W.L., Schalch, S.H.C., Garcia, F., Castellani, D., da Rocha Manzatto, M., 2009. Silagem de peixe em ração artesanal para tilápia-do-nilo. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 44, 519–525. doi:10.1590/S0100-204X2009000500012
- Al-Hafedh, Y.S., Alami, A., Beltagi, M.S., 2008. food production and water conservation in a recirculating aquaponic system in Saudi Arabia at different ratios of fish feed to plants. *Journ. of the World Aquac. Soc.* 39 (4), 510-520. doi:10.1111/j.1749-7345.2008.00181.x
- Almeida, F.L.A., Carvalho, R.F., Pinhal, D., Padovani, C.R., Martins, C., Dal Pai-Silva, M., 2008. Differential expression of myogenic regulatory factor MyoD in pacu skeletal muscle (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg 1887: Serrasalminae, Characidae, Teleostei) during juvenile and adult growth phases. *Micron* 39, 1306–1311. doi:10.1016/j.micron.2008.02.011
- Avnimelech, Y., 2015. *Biofloc Technology - A Practical Guide Book*, 3rd ed. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, EUA.
- Ayroza, L.M.S., Romagosa, E., Ayroza, D.M.M.R., Scorvo-Filho, J.D., Salles, F.A., 2011. Custos e rentabilidade da produção de juvenis de tilápia-do-Nilo em tanques-rede utilizando-se diferentes densidades de estocagem. *R. Bras. Zootec* 40 (2), 231-239.
- Azim, M.E., Little, D.C., 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 283, 29–35. doi:10.1016/j.aquaculture.2008.06.036
- Bosma, R.H., Lacambra, L., Landstra, Y., Perini, C., Poulie, J., Schwaner, M.J., Yin, Y., 2017. The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics. *Aquac. Eng.* 78, 146–154. doi:10.1016/j.aquaeng.2017.07.002
- Bossier, P., Ekasari, J., 2017. Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. *Microb. Biotechnol.* 10, 1012–1016. doi:10.1111/1751-7915.12836
- Brol, J., Pinho, S.M., Sgnaulin, T., Pereira, K., Thomas, M.C., Mello, G.L., Miranda-Baeza, A., Emerenciano, M.G.C., 2017. Tecnologia de bioflocos (BFT) no

- desempenho zootécnico de tilápias: efeito da linhagem e densidades de estocagem. *Arch. de Zootec.* 66 (254), 229-235. doi:10.21071/az.v66i254.2326
- Buhmann, A.K., Waller, U., Wecker, B., Papenbrock, J., 2015. Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. *Agricultural Water Management* 149, 102–114. doi:10.1016/j.agwat.2014.11.001
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., Verstraete, W., 2012. Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356–357, 351–356.
- Dediu, L., Cristea, V., Xiaoshuan, Z., 2012. Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with bester and lettuce. *African Journal of Biotechnology* 11 (9), 2349-2358.
- Delaide, B., Goddek, S., Gott, J., Soyeurt, H., Jijakli, M.H., 2016. Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Sucrine*) growth performance in complemented aquaponic solution outperforms hydroponics. *Water (Switzerland)* 8, 1–11. doi:10.3390/w8100467
- Diver, S., 2006. Aquaponics - Integration of Hydroponics with Aquaculture. ATTRA National Sustainable Agriculture Information Service. National Center for Appropriate Technology, p. 1-25.
- Edwards, P., 2015. Aquaculture environment interactions: past, present and likely future trends. *Aquaculture* 447, 2–14. doi:10.1016/j.aquaculture.2015.02.001
- Emerenciano M., Gaxiola, G., Cuzon, G., 2013. Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. In: *Biomass Now - Cultivation and Utilization*, Dr. Miodrag Darko Matovic (Ed.), ISBN: 978-953-51-1106-1, InTech.
- Emerenciano, M., Mello, G.L, Pinho, S.M., Molinari, D., Blum, M.N., 2015. Aquaponia: uma alternativa de diversificação na Aquicultura. *Panorama da Aquicultura* 25 (147), 24-35.
- Emerenciano, M.G.C., Martínez-Córdova, L.R., Martínez-Porchas, M., Miranda-Baeza, A., 2017. Biofloc Technology (BFT): A Tool for Water Quality Quality Management in Aquaculture Management in Aquaculture, in: INTECH. pp. 91–109.

- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Nik, W.B.W., Hassan, A., 2010. A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation. *Biores. Technol.* 101, 1511–1517. doi:10.1016/j.biortech.2009.09.040
- FAO, 2014. Small-scale aquaponic food production integrated fish and plant farming. Fisheries and Aquaculture Technical Paper 589. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4021e/index.html>> Acesso em: jan 2017.
- Forchino, A.A., Loughioui, H., Brigolin, D., Pastres, R., 2017. Aquaponics and sustainability: The comparison of two different aquaponic techniques using the Life Cycle Assessment (LCA). *Aquac. Eng.* 77, 80–88. doi:10.1016/j.aquaeng.2017.03.002
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K.V., Jijakli, H., Thorarinsdottir, R., 2015. Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustain.* 7, 4199–4224. doi:10.3390/su7044199
- Haque, M.M., Alam, M.R., Alam, M.M., Basak, B., Sumi, K.R., Belton, B., Jahan, K.M.E., 2015. Integrated floating cage aquageoponics system (IFCAS): An innovation in fish and vegetable production for shaded ponds in Bangladesh. *Aquac. Reports* 2, 1–9. doi:10.1016/j.aqrep.2015.04.002
- IBEG, 2017. Produção da Pecuária Municipal 2016. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?&t=resultados>> Acesso em: jan 2018.
- Johnston, I.A., 2006. Environment and plasticity of myogenesis in teleost fish. *J. Exp. Biol.* 209, 2249–2264. doi:10.1242/jeb.02153
- Ju, Z.Y., Forster, I., Conquest, L., Dominy, W., Kuo, W.C., David Horgen, F., 2008. Determination of microbial community structures of shrimp floc cultures by biomarkers and analysis of floc amino acid profiles. *Aquac. Res.* 39, 118–133. doi:10.1111/j.1365-2109.2007.01856.x
- Knaus, U., Palm, H.W., 2017. Effects of fish biology on ebb and flow aquaponical cultured herbs in northern Germany (Mecklenburg Western Pomerania). *Aquaculture* 466, 51–63. doi:10.1016/j.aquaculture.2016.09.025

- Kojima, J.T., Leitão, N.J., Menossi, O.C.C., Freitas, T.M., Dal-Pai Silva, M., Portella, M.C., 2015. Short periods of food restriction do not affect growth, survival or muscle development on pacu larvae. *Aquaculture* 436, 137–142. doi:10.1016/j.aquaculture.2014.11.004
- Lekang, O., 2007. *Aquaculture engineering*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford. p. 330.
- Lennard, W.A., Leonard, B.V., 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an Aquaponic test system. *Aquac. Int.* 14, 539–550. doi:10.1007/s10499-006-9053-2
- Leonardo, A.F.G., Tachibana, L., Corrêa, C.F., Baccarin, A.E., Scorvo, J.D., 2009. Avaliação econômica da produção de juvenis de tilápia-do-nilo, alimentados com ração comercial e com a produção primária advinda da adubação orgânica e inorgânica. *Custos e agronegócio online* 5 (3), 22-35.
- Little, D.C., Bhujel, R.C., Pham, T.A., 2003. Advanced nursing of mixed-sex and mono-sex tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry, and its impact on subsequent growth in fertilized ponds. *Aquaculture* 221, 265–276. doi:10.1016/S0044-8486(03)00008-5
- Long, L., Yang, J., Li, Y., Guan, C., Wu, F., 2015. Effect of biofloc technology on growth, digestive enzyme activity, hematology, and immune response of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 448, 135–141. doi:10.1016/j.aquaculture.2015.05.017
- Love, D.C., Fry, J.P., Li, X., Hill, E.S., Genello, L., Semmens, K., Thompson, R.E., 2015. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. *Aquaculture* 435, 67–74. doi:10.1016/j.aquaculture.2014.09.023
- Luo, G., Gao Q., Wang C., Liu W., Sun D., Li L., Tan H., 2014. Growth, digestive activity, welfare, and partial cost-effectiveness of genetically improved farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in a recirculating aquaculture system and an indoor biofloc system. *Aquaculture* 422, 1-7. doi:10.1016/j.aquaculture.2013.11.023
- Luo, G., Zhang, N., Cai, S., Tan, H., Liu, Z., 2017. Nitrogen dynamics, bacterial community composition and biofloc quality in biofloc-based systems cultured *Oreochromis niloticus* with poly- β -hydroxybutyric and polycaprolactone as

- external carbohydrates. *Aquaculture* 479, 732–741. doi:10.1016/j.aquaculture.2017.07.017
- Mansour, A.T., Esteban, M.Á., 2017. Effects of carbon sources and plant protein levels in a biofloc system on growth performance, and the immune and antioxidant status of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Fish Shellfish Immunol.* 64, 202–209. doi:10.1016/j.fsi.2017.03.025
- Martínez-Córdova, L.R., Emerenciano, M., Miranda-Baeza, A., Martínez-Porchas, M., 2014. Microbial-based systems for aquaculture of fish and shrimp: An updated review. *Rev. Aquac.* 7, 131–148. doi:10.1111/raq.12058
- Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C.J., Heinsbroek, L.T.N., Shneider, O., Blancheton, J.P., Roque, E., Verreth, J.A.J., 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquac. Eng.* 43, 83–93. doi:10.1016/j.aquaeng.2010.09.002
- Martins, G.B., Tarouco, F., Rosa, C.E., Robaldo, R.B., 2017. The utilization of sodium bicarbonate, calcium carbonate or hydroxide in biofloc system: water quality, growth performance and oxidative stress of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 468, 10–17. doi:10.1016/j.aquaculture.2016.09.046
- Miranda-Baeza, A., Mariscal-López, M.A., López-Elías, J.A., Rivas-Vega, M.E., Emerenciano, M., Sánchez-Romero, A., Esquer-Méndez, J.L., 2017. Effect of inoculation of the cyanobacteria *Oscillatoria sp.* on tilapia biofloc culture. *Aquac. Res.* 48, 4725–4734. doi:10.1111/are.13294
- Moya, E.A.E., Sahagún, C.A.A., Carrillo, J.M.M., Alpuche, P.J.A., Álvarez-González, C.A., Martínez-Yáñez, R., 2014. Herbaceous plants as part of biological filter for aquaponics system. *Aquac. Res.* 42 (6), 1716–1726. doi:10.1111/are.12626
- Nozzi, V., Parisi, G., Crescenzo, D., Giordano, M., Carnevali, O., 2016. Evaluation of *Dicentrarchus labrax* meats and the vegetable quality of *Beta vulgaris* var. Cicla farmed in freshwater and saltwater aquaponic systems. *Water (Switzerland)* 8, 1–14. doi:10.3390/w8100423
- Palm, H.W., Bissa, K., Knaus, U., 2014. Significant factors affecting the economic sustainability of closed aquaponic systems. Part II: fish and plant growth. *AACL Bioflex* 7, 162–175.

- Pérez-Fuentes, J.A., Hernández-Vergara, M.P., Pérez-Rostro, C.I., Fogel, I., 2016. C:N ratios affect nitrogen removal and production of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* raised in a biofloc system under high density cultivation. *Aquaculture* 452, 247–251. doi:10.1016/j.aquaculture.2015.11.010
- Pinheiro, I., Arantes, R., do Espírito Santo, C.M., do Nascimento Vieira, F., Lapa, K.R., Gonzaga, L.V., Fett, R., Barcelos-Oliveira, J.L., Seiffert, W.Q., 2017. Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. *Ecol. Eng.* 100, 261–267. doi:10.1016/j.ecoleng.2016.12.024
- Pinho, S.M., Mello, G.L., Fitzsimmons, K.M., Emerenciano, M.G.C., 2017b. Integrated production of fish (pacu *Piaractus mesopotamicus* and red tilapia *Oreochromis sp.*) with two varieties of garnish (scallion and parsley) in aquaponics system. *Aquac. Int.* 1–14. doi:10.1007/s10499-017-0198-y
- Pinho, S.M., Molinari, D., Mello, G.L., Fitzsimmons, K.M., Coelho Emerenciano, M.G., 2017a. Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecol. Eng.* 103, 146–153. doi:10.1016/j.ecoleng.2017.03.009
- Quintã, R., Santos, R., Thomas, D.N.N., Le Vay, L., 2015. Growth and nitrogen uptake by *Salicornia europaea* and *Aster tripolium* in nutrient conditions typical of aquaculture wastewater. *Chemosphere* 120, 414–421. doi:10.1016/j.chemosphere.2014.08.017
- Rakocy, J.E., 2012. Aquaponics - Integrating Fish and Plant Culture. In: Tidwell, J.H. (Ed.). *Aquaculture Production Systems*. 1. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012. p. 343–386.
- Ray, A.J., Seaborn, G., Leffler, J.W., Wilde, S.B., Lawson, A., Browdy, C.L., 2010. Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquaculture* 310, 130–138. doi:10.1016/j.aquaculture.2010.10.019
- Rijn, J., 2013. Waste treatment in recirculating aquaculture systems. *Aquac. Eng.* 53, 49–56. doi:10.1016/j.aquaeng.2012.11.010

- Ru, D., Liu, J., Hu, Z., Zou, Y., Jiang, L., Cheng, X., Lv, Z., 2017. Improvement of aquaponic performance through micro- and macro-nutrient addition. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 16328–16335. doi:10.1007/s11356-017-9273-1
- Sace, C.F., Fitzsimmons, K.M., 2013. Vegetable production in a recirculating aquaponic system using Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with and without freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). *Acad. J. Agric. Res.* 1, 236–250. doi:10.15413/ajar.2013.0138
- Sala, F.C., Costa, C.P., 2012. Retrospectiva e tendencia da alfacicultura brasileira. *Horticultura Brasileira* 30 (2), 187-194. doi:10.1590/S0102-05362012000200002
- Salvador, R., Müller, E.E., Leonhardt, J.H., Pretto-giordano, L.G., Dias, J.A., Freitas, J.C.D., 2003. Isolamento de *Streptococcus spp* de tilápias do nilo (*Oreochromis niloticus*) e qualidade da água de tanques rede na Região Norte do Estado do Paraná, Brasil. *Semin. Ciências Agrárias* 24, 35–42.
- Shete, A.P., Verma, A.K., Chadha, N.K., Prakash, C., Chandrakant, M.H., Nuwansi, K.K.T., 2017. Evaluation of different hydroponic media for mint (*Mentha arvensis*) with common carp (*Cyprinus carpio*) juveniles in an aquaponic system. *Aquac. Int.* 25, 1291–1301. doi:10.1007/s10499-017-0114-5
- Thompson, F.L., Abreu, P.C., Wasielesky, W., 2002. Importance of biofilm for water quality and nourishment in intensive shrimp culture. *Aquaculture* 203, 263–278. doi:10.1016/S0044-8486(01)00642-1
- Tokunaga, K., Tamaru, C., Ako, H., Leung, P., 2015. Economics of small-scale commercial aquaponics in hawai'i. *J. World Aquac. Soc.* 46, 20–32. doi:10.1111/jwas.12173
- Tyson, R. V., Treadwell, D.D., Simonne, E.H., 2011. Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *Horttechnology* 21, 6–13.
- Valente, L.M.P., Moutou, K.A., Conceição, L.E.C., Engrola, S., Fernandes, J.M.O., Johnston, A., 2013. What determines growth potential and juvenile quality of farmed fish species? *Reviews in Aquaculture* 5, 168-193. doi:10.1111/raq.12020
- Watanabe, W.O., Losordo, T.M., Fitzsimmons, K., Hanley, F., 2012. Tilapia Production Systems in the Americas: Technological Advances, Trends, and Challenges. *Reviews in Fisheries Science* 10 (3-4), 465-498.

Wei, Y., Liao, S., Wang, A., 2016. The effect of different carbon sources on the nutritional composition, microbial community and structure of bioflocs. *Aquaculture* 465, 88–93. doi:10.1016/j.aquaculture.2016.08.040

Zhang, N., Luo, G., Tan, H., Liu, W., Hou, Z., 2016. Growth, digestive enzyme activity and welfare of tilapia (*Oreochromis niloticus*) reared in a biofloc-based system with poly- β -hydroxybutyric as a carbon source. *Aquaculture* 464, 710–717. doi:10.1016/j.aquaculture.2016.08.013