

AQUAPONIA: SISTEMA QUE INTEGRA PRODUÇÃO DE PEIXES COM PRODUÇÃO DE VEGETAIS DE FORMA SUSTENTÁVEL

Thaise Mota SÁTIRO¹; Kélvia Xavier Costa Ramos NETO¹; Sâmila Esteves DELPRETE²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, campus Rio Pomba – IFSEMG

²Universidade Federal do Espírito Santo - UFES

*email: thatamota_10@hotmail.com

Recebido em: 22/01/2018

Resumo - A aquaponia é uma atividade integrada e colaborativa. É a aquicultura convencional associada à hidroponia, ocorrendo verdadeira simbiose entre organismos aquáticos e plantas. Essa técnica pode ser considerada ecologicamente correta, pois a água da aquicultura alimenta o sistema hidropônico, no qual os subprodutos são quebrados por bactérias nitrificantes em nitritos e depois nitratos, os quais serão utilizados pelas plantas como nutrientes. Diversas espécies de peixe adaptam-se bem ao sistema e podem ser cultivadas em aquaponia. Contudo, quais são as principais espécies de peixe utilizadas nesse sistema, as vantagens e os desafios? Dessa forma, buscou-se por meio desta pesquisa bibliográfica apresentar as principais espécies de peixe produzidas, as diversas vantagens que esse sistema oferece, bem como os principais desafios da atividade descritos na literatura científica, visto ser uma atividade relativamente nova e com poucos estudos no Brasil. A principal espécie utilizada é a tilápia, por ser bastante resistente e com pacote tecnológico difundido no Brasil e no mundo. Uma das principais vantagens do sistema aquapônico é a economia de água, pois consiste num sistema de recirculação total da água. Entre os desafios da aquaponia no Brasil, tem-se a dependência de energia elétrica. Nesse contexto, entre inúmeras vantagens e benefícios, esse sistema torna a técnica inovadora, além de se mostrar solução para os Estados que sofrem com a escassez hídrica.

Palavras-chave: aquicultura, espécies, hidroponia, plantas, sustentabilidade.

AQUAPONIC: SYSTEM THAT INTEGRATES PRODUCTION OF FISH WITH PRODUCTION OF VEGETABLES IN A SUSTAINABLE WAY

Abstract - Aquaponics is an integrated and collaborative activity. It is conventional aquaculture associated with hydroponics, occurring true symbiosis between aquatic organisms and plants. This technique can be considered ecologically correct because aquaculture water feeds the hydroponic system, where by-products are broken down by nitrifying bacteria into nitrites and then nitrates, which will be used by plants as nutrients. Several species of fish adapt well to the system and can be cultured in aquaponics. However, what are the main species of fish used in this system, their advantages and their challenges? In this way, this bibliographical research sought to present the main species of fish produced, the several advantages offered by this system, as well as the main challenges of the activity described in the scientific literature, since it is a relatively new activity and with few studies in Brazil. The main species used is tilapia, due to its being quite resistant and with technological package spread in Brazil and in the world. One of the main advantages of the aquaponic system is the water saving, since it consists of a system of total recirculation of the water. Among the challenges of aquaponics in Brazil is the dependence of electric energy. In this context, among the many advantages and benefits, this system makes the technique innovative, as well as being a solution for states that suffer from water scarcity.

Keywords: aquaculture, species, hydroponic, plant, sustainability.

INTRODUÇÃO

A aquicultura consiste no cultivo de organismos aquáticos, e é o segmento da produção animal que mais cresce no cenário atual do Brasil. Superou, nos últimos anos, as taxas de crescimento da bovinocultura, da suinocultura e da avicultura (Kubitza, 2015). O alto potencial do Brasil na aquicultura, associado à produção sustentável, reflete a necessidade da organização da produção dentro de uma perspectiva ecoeficiente, a fim de atender tanto a comercialização e a exportação em grande escala quanto a preservação do meio ambiente. Isso leva à necessidade de inovar cada vez mais as técnicas vinculadas à produção de organismos aquáticos (Hundley et al., 2013).

A aquaponia pode ser considerada essa técnica inovadora, pois consiste na produção de alimentos com baixo consumo de água e alto aproveitamento do resíduo orgânico gerado, sendo a alternativa de produção de peixes e vegetais menos impactante ao meio ambiente (Tyson, Treadwell & Simonne, 2011). Apesar de o termo ser relativamente novo no Brasil, trata-se de tecnologia testada e validada em vários países nos últimos 20 anos e, hoje, comprovadamente viável do ponto de vista econômico e técnico (Graber & Junge, 2009; Rakocy, Masser & Losordo, 2006). As primeiras tentativas de implantação de sistemas de aquaponia foram publicadas por volta da década de 1970, quando foi evidenciado que o desperdício metabólico dos peixes poderia ser utilizado no cultivo hidropônico (Lewis, Yopp, Schramm Jr. & Brandenburg, 1978).

A literatura brasileira ainda é escassa no que se refere à aquaponia, com apenas algumas publicações recentes (Alves et al., 2015; Jordan, Geisenhoff, Oliveira, Santos & Martins, 2018; De Medeiros, Kautzmann & Taffarel, 2017). O interesse pelo tema tem aumentado nos últimos anos. Pesquisadores de universidades brasileiras e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) vêm realizando ensaios experimentais sobre o assunto. Por outro lado, há muita informação científica e técnica no exterior, como os estudos realizados por Buzby, West, Waterland & Lin (2017), Diem, Konnerup & Brix (2017) e Knaus & Palms (2017).

Paralelamente às pesquisas realizadas nessas últimas décadas, muito interesse foi despertado em países como Austrália, Canadá, Israel e Estados Unidos, tanto do ponto de vista comercial quanto em pequena escala ou residencial, conhecido internacionalmente como *backyard aquaponics* (Carneiro, Nunes, Maria & Fujimoto, 2015).

Em muitas técnicas de cultivos de peixes, particularmente onde se trabalha com espécies dulcícolas, o avanço tecnológico no sentido de associar o cultivo de peixes ao de vegetais em sistema hidropônico pode ser uma estratégia sustentável, capaz de gerar produtos de origem animal e vegetal de alta qualidade sem o uso de agrotóxicos. A qualidade dos alimentos e suas

interferências na saúde passaram a ter destaque especial dentre os fatores que levam o consumidor à escolha de um produto diferenciado no mercado. Esses alimentos orgânicos têm apresentado grande aceitação e, dessa forma, encontrar maneiras de cultivá-los por meio da técnica aquapônica é uma forma viável de agregar valor ao produto, tornando-o nutricional e economicamente interessante (Adler, Harper, Wade, Takeda & Summerfelt (2000).

Dessa forma, buscou-se com este trabalho apresentar as principais espécies de peixe utilizadas na aquaponia, bem como as vantagens do sistema aquapônico e os desafios para sua progressão descritos na literatura científica, de modo a promover o desenvolvimento sustentável da aquicultura.

MATERIAIS E MÉTODOS

A estruturação dos dados foi realizada por meio de revisão na literatura com base em resumos publicados em congressos, monografias, dissertações, teses, livros, artigos científicos, técnicos e notas de divulgação. Para busca de tais trabalhos, foram utilizadas ferramentas disponíveis na web, como Google Acadêmico, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e *Web of Science* (WoS). A busca foi realizada com a combinação de palavras-chave, como “aquaponia”, “integração”, “desafios” e “vantagens”.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

VANTAGENS E BENEFÍCIOS DO SISTEMA DE AQUAPONIA

A aquaponia tem sido proposta como tecnologia eficiente, dentro do contexto de reuso da água, de mínima produção de resíduos, utilização de espaços e recursos naturais (Rakocy, 2007). A técnica é tão abrangente que pode ser realizada por grandes e pequenos produtores, até mesmo por *hobby* em varanda de casas, utilizando-se tambores e caixas d'água, por exemplo. A prática de produção de alimentos, em especial hortaliças, na própria residência, doravante como agricultura urbana, é muito comum por todo o mundo e vem sendo bastante incentivada por contribuir com a sustentabilidade ao diminuir a pressão de demanda sobre o setor produtivo de alguns alimentos (Aquino & Assis, 2005).

Além do mais, a globalização da crise econômica, a sociedade cada vez mais concentrada nos centros urbanos, o rápido crescimento da população, a migração do campo para a cidade, a deterioração das economias nacionais e as persistentes dificuldades econômicas são condições prévias para o início da atividade de produção de alimentos nas cidades em muitos países em desenvolvimento (Dresher, Jacobi & Amend, 2000). Blidariu & Grozea (2011) consideram que a

integração de peixes e plantas é um tipo de policultivo que aumenta a diversidade e a estabilidade do sistema, e que a venda desses alimentos contribui para a economia local.

A aquicultura pode fornecer fonte orgânica consistente de nutrientes para as plantas cultivadas em hidroponia. Dessa forma, a aquaponia e a integração de fazendas agrícolas podem reduzir os impactos ambientais provenientes da aquicultura convencional e da agricultura. Existem diferentes definições e conceitos devido à possibilidade de desenhar diferentes sistemas. De modo geral, a aquaponia pode ser caracterizada como sistema de recirculação em aquicultura (SRA) acoplado à hidroponia em um mesmo sistema de produção. Nesse contexto, em um sistema aquapônico geralmente circula a água, de forma que os resíduos sólidos irão ser filtrados e tratados biologicamente para que as plantas utilizem os nutrientes disponíveis (Araújo, 2015).

Diante disso, o insumo fundamental na aquaponia é a ração, pois a partir da ingestão, digestão e excreção dos peixes, as bactérias fazem a conversão da excreta em nutrientes assimilados e absorvidos pelas plantas. De acordo com Carneiro et al. (2015) torna-se um fluxo contínuo de nutrientes entre diferentes organismos vivos que se relacionam por meio de ciclos biológicos naturais. Nesse ciclo, bactérias nitrificantes, as *Nitrossomonas*, transformam a amônia (NH_3) em nitrito (NO_2^-); posteriormente, as *Nitrobacter* transformam nitrito em nitrato (NO_3^-), forma do nitrogênio (N) mais absorvível pelas plantas, que tem papel importante na filtragem biológica da água, garantindo a homeostase do sistema e o bem-estar dos peixes (Silva, 2017).

A quantidade de plantas a ser cultivada está diretamente ligada à quantidade de ração que é adicionada ao sistema, que, por sua vez, está relacionada à densidade de peixes estocada em kg/m^3 . Assim, 25 a 40 g de ração fornecidas diariamente aos peixes vão proporcionar nutrientes para 1 m^2 de área de produção vegetal (Carneiro et al., 2015). Em média, os peixes consomem cerca de 1,5% do seu peso vivo ao dia em fase de engorda, ou seja, 10 kg de peixes consomem em torno de 150 g de ração por dia, o que possibilita o cultivo de alface em área de aproximadamente 6 m^2 . Vale ressaltar que tais valores apresentados podem variar em função de fatores bióticos e abióticos (Carneiro et al., 2015).

Na Universidade de Ilhas Virgens, foram avaliados aspectos positivos dos sistemas aquapônicos com diferentes peixes e plantas, onde pesquisadores foram capazes de produzir 4,37 t de tilápia por ano em sistema de aquaponia escalonada e em lote (Rakocy, Bailey, Shultz & Thoman, 2004).

No Canadá, foi desenvolvido por Savidov, Hutchings & Rakocy (2005) um sistema de aquaponia com tilápias, pepino e tomate. Os rendimentos de tomates e pepinos atingiram 20,7 e 33,4 kg/planta/ano, respectivamente, ultrapassando os rendimentos médios produzidos em sistemas hidropônicos comerciais na mesma área geográfica. A tilápia foi cultivada a $24,8^\circ\text{C}$ por período de

24 semanas. A conversão alimentar (CA) foi 1,3 e os peixes foram cultivados até o peso de 400 g. No Brasil, a tilápia é comercializada a partir de 600 g. Neste estudo, quando iniciaram a oferta de alimento para os peixes, as concentrações de nutrientes na água eram baixas (Savidov, Hutchings & Rakocy, 2005), mostrando que a aquaponia tem potencial para a produção de alimentos em larga escala.

Outro fator a ser considerado é o volume de água necessário para abastecer o sistema, que é baixo quando comparado à aquicultura tradicional — cerca de 90% —, já que, uma vez abastecido e em funcionamento, o sistema pode ficar por muitos meses sem trocar a água, sendo necessária somente a reposição da água perdida por evapotranspiração, preconizando a reutilização total da água, reduzindo o desperdício e a liberação de efluente no ambiente (Carneiro, Maria, Nunes & Fujimoto, 2015).

Estudos de Corso (2010) apontam que a quantidade de água gasta em um sistema de recirculação para o cultivo de 1 kg de peixe é apenas 27,5% do total consumido em um sistema convencional.

Considerando-se apenas o uso da água, a aquaponia pode ser considerada a atividade mais eficiente no que diz respeito à produção de alimentos, em termos de quantidade de produtos produzidos por volume de água (Tabela 1). São necessários 500 L de água para produzir R\$ 372,86 em peixe e alface, enquanto na produção de bovinos é necessária uma quantidade 100 vezes maior de água (Rakocy, Bailey, Shultz & Thoman, 2004).

Tabela 1. Consumo de água necessário para se obter R\$ 372,86 em produtos.

Produto	Litros de água
Arroz	470.000
Leite	147.000
Açúcar	123.000
Gado	81.200
Legumes e frutas	37.900
Trigo	24.500
Hidroponia	600
Aquaponia com alface	500
Aquaponia com manjericão	173

Fonte: Rakocy, Bailey, Shultz e Thoman, 2004.

Alguns autores, como Braz Filho (2000) e Lennard (2004), afirmam que as crescentes

restrições e custos quanto ao uso da água já obrigam produtores rurais em diversos países a buscarem alternativas mais econômicas no que tange à utilização da água para viabilização da produção de alimentos.

O baixo custo com adubos também pode ser observado, pois são os peixes que proporcionam solução nutritiva para os vegetais (De Oliveira, 2016). Os dejetos são, então, aproveitados no sistema e não direcionados ao ambiente, diminuindo a quantidade de efluentes lançados em corpos d'água naturais. A restrição do uso de agrotóxicos no controle de pragas dos vegetais se faz necessária, devido ao comprometimento da saúde dos peixes. Sendo assim, os produtos oriundos do sistema têm apelo humanitário, zelando pela saúde dos consumidores. As chances de fuga de espécies exóticas para a natureza são reduzidas em razão da recirculação de água, que, conseqüentemente, evita sua proliferação, o que poderia levar à extinção de espécies nativas (De Oliveira, 2016).

Braz Filho (2000) também ressalta outras vantagens, como a diminuição na proliferação de algas e fungos, que podem conferir sabor desagradável aos peixes; a manutenção anual das condições ambientais propícias à criação; e a possibilidade de manejo intensivo para obtenção de produtos mais homogêneos.

O número de adeptos à técnica vem aumentando, pois as pessoas têm buscado alternativas para produzir seus próprios alimentos de forma sustentável. Além disso, esse procedimento mostra-se muito vantajoso. Pesquisadores e estudantes de diferentes instituições e universidades vêm realizando ensaios experimentais, difundindo o assunto, o conhecimento e aprimorando os sistemas aquapônicos.

ESPÉCIES DE PEIXE MAIS UTILIZADAS NA AQUAPONIA

Espécies de peixe ideais para o cultivo em aquaponia estão relacionadas ao cultivo das plantas, devido a cada espécie de peixe apresentar demanda distinta em qualidade de água para expressar seu melhor desempenho produtivo e à resistência a maiores concentrações de N no sistema, assim como as plantas. A combinação entre espécie de peixe e de planta é a melhor escolha, buscando encaixar parâmetros, como faixa ideal de pH e temperatura parecidas, para beneficiar os dois cultivos, obtendo os melhores resultados (Caló, 2011).

A alta densidade de peixes nos viveiros, característica de muitos sistemas de aquaponia e de sistemas de recirculação de água, é limitador na escolha da espécie a ser utilizada. A espécie de peixe deve ser tolerante a altas densidades de estocagem e ao manejo frequente, que é uma característica da aquaponia.

Algumas das espécies utilizadas são o bagre-americano (*Ictalurus punctatus*), o achigã

(*Micropterus salmoides*), o pacu (*Piaractus mesopotamicus*), a carpa comum (*Cyprinus carpio*), a perca gigante (*Lates calcarifer*), o bacalhau-do-rio-australiano (*Maccullochella peelii*) e a tilápia (*Oreochromis niloticus*) (Rakocy, 2007), podendo algumas ser utilizadas inclusive em consórcio com crustáceos, como o lagostim australiano da garra vermelha (*Cherax quadricarinatus*) (Martan, 2008).

Consta na literatura científica brasileira um experimento interessante e com bastante sucesso na utilização de alface (*Lactuca sativa*) e agrião (*Rorippa nasturtium-aquaticum*) em hidroponia no tratamento de efluentes oriundos de berçário de camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) (Castellani, Camargo & Abimorad, 2009).

A tilápia (*O. niloticus*), por ser um peixe resistente, bastante rústico, com boa conversão alimentar, por tolerar altas densidades de estocagem, ter pacote tecnológico de cultivo, de reprodução, de melhoramento e de nutrição avançados e difundidos por todo o mundo, além de ter um bom preço comercial, é o peixe mais utilizado na aquaponia (Marengoni, 2006), e o mais estudado neste sistema.

A literatura científica brasileira conta com grande acervo de estudos voltados para aquaponia com tilápia, como os realizados por Crivelenti, Borin & da Silva (2009), Hundley et al. (2013), Alves et al. (2015), Jordan et al. (2016) e Rigo (2017), e que obtiveram bom crescimento das tilápias e melhor qualidade do vegetal (alface), comparado à hidroponia pela absorção do nitrato, resultante da nitrificação bacteriana, em sistema integrado com uso de biofiltro.

A técnica de bioflocos, junto à aquaponia, também tem sido alvo de estudos, como o realizado por Pinheiro (2015), no qual se objetivou avaliar o cultivo da halófito *Sarcocornia ambigua* e do camarão *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos microbianos. Concluiu-se que nesse sistema de cultivo foi encontrado erva-sal (*S. ambigua*) com quantidades de fenólicos e atividade antioxidante que a caracterizam como fonte promissora de antioxidantes naturais para o consumo humano. Na estrutura de aquaponia utilizada foi possível aproveitar os nutrientes do cultivo de camarão para a produção de *S. ambigua*, com melhor aproveitamento do N da ração. A utilização de espécies nativas em sistemas de aquaponia tem sido pouco utilizada no Brasil e no mundo. Com isso, Araújo (2015) estudou o cultivo de *Leporinus obtusidens*, a piava, e *Rhamdia quelen*, o jundiá. A piava possui boas características zootécnicas, tais como bom rendimento de filé, tolerância ao manejo, fácil aceitação à ração e popularidade no mercado consumidor (Baldisserotto & Gomes, 2010), ideais para o sistema de aquaponia. Já o jundiá está amplamente distribuído na região Sul do Brasil, com boa tolerância a baixas temperaturas, resistência ao manejo e boa aceitação pelo consumidor (Gomes, Golombieski, Chippari Gomes & Baldisserotto, 2000; Amaral, 2013).

Diante disso, avaliou-se um sistema de aquaponia com as espécies piava (*L. obtusidens*) e jundiá (*R. quelen*), utilizando alface lisa (*L. sativa*), birí (*Canna indica*) e tomate-cereja (*Solanum lycopersicum*, var. *cerasiforme*) como vegetais cultivados (Amaral, 2013; Gomes, Golombieski, Chippari Gomes & Baldisserotto, 2000). Como resultado, os peixes em sistema de aquaponia com a piava não atingiram o tamanho de mercado, pois, de acordo com o autor, o estudo foi realizado num curto período de tempo, sendo necessária a realização de mais estudos envolvendo a piava *L. obtusidens*. O jundiá obteve taxa de crescimento específico e conversão alimentar baixas. Nesse contexto, devem ser realizados mais estudos relacionados à utilização de espécies nativas nesse tipo de sistema.

Independentemente da escolha, os subsistemas de aquicultura e hidroponia de um sistema de aquaponia devem trabalhar continuamente perto de sua capacidade máxima, sem colocar em causa o bem-estar animal e a capacidade do sistema de converter os compostos tóxicos em nutrientes para as plantas (Nowosad et al., 2013).

OS VEGETAIS MAIS UTILIZADOS NA AQUAPONIA

Hoje, com o desenvolvimento de estudos, sabe-se que é possível produzir uma grande variedade de espécies vegetais em aquaponia, como alface (*L. sativa*), manjerição (*Ocimum basilicum*), agrião (*Nasturtium officinale*), repolho (*Brassica oleracea*), rúcula (*Eruca sativa*), morango (*Fragaria vesca*), pimenta (*Capsicum spp.*), tomate (*S. lycopersicum*), quiabo (*Abelmoschus esculentus*), pepino (*Cucumis sativus*) e muitas outras. Espécies vegetais adaptadas à hidroponia são sempre recomendadas à aquaponia, uma vez que a maioria delas tolera altos teores de água em suas raízes e oscilações nos teores de nutrientes dissolvidos na solução nutritiva sem apresentar graves sintomas de deficiência nutricional para a planta (Carneiro et al., 2015).

Para o crescimento ideal as plantas necessitam de 16 nutrientes essenciais, e carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H) são disponibilizados pela água (H₂O) e pelo dióxido de carbono (CO₂). Os macronutrientes — N, potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e enxofre (S) — e os micronutrientes — cloro (Cl), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), zinco (Zn) e cobre (Cu) — precisam estar balanceados em proporções ótimas, pois altos níveis de um nutriente pode influenciar na biodisponibilidade de outros (Gerber, 1985 *apud* Rakocy, 2007).

No estudo realizado por Hundley et al. (2013), cujo objetivo era avaliar o crescimento do manjerição (*Origanum basilicum*) e da manjerona (*Origanum majorana*) utilizando efluente do cultivo de tilápia em sistema de aquaponia, pôde-se verificar crescimento mais acelerado da manjerona em relação a estudo hidropônico.

Há estudos aquapônicos que envolvem a produção de alface (*L. sativa*) com tilápia em bioflocos e baixa salinidade, como o de Lenz (2016). Nesse estudo, utilizou-se três variedades de

alface (*L. sativa*): alface-roxa, alface-lisa e alface-crespa. No estudo, foi observado melhor produtividade e taxa de crescimento específico nas variedades cultivadas no sistema de água doce em relação ao de água salgada.

Diante desse fato, pode-se dizer que a salinidade afetou negativamente o crescimento e a produtividade das variedades de alface. De acordo com Ayers e Westcot (1999), as quantidades de sais na água podem levar à diminuição do potencial osmótico da solução, à seca fisiológica, ao acúmulo de íons tóxicos e ao desequilíbrio iônico. Soares (2007) diz que plantas em condições salinas podem apresentar sintomas de crescimento lento, murchamento temporário, folhas queimadas e pequenas.

OS DESAFIOS PARA A PROGRESSÃO DA AQUAPONIA

A produção de pescado por meio da aquicultura tem crescido no Brasil ao longo dos anos. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2016, a aquicultura brasileira produziu, entre peixes, camarões, ostras, mexilhões e vieiras, o total de 580.070 t de pescado, avaliadas em R\$ 4,2 bilhões. A maior parte deste valor é oriunda do cultivo de peixes (77,32%), seguido da criação de camarões (21,5%) e de moluscos (1,62%).

Não obstante, apesar de todo crescimento e expansão da aquicultura, ainda existem desafios a serem superados. De acordo com a Embrapa (2015), deve-se avançar na reprodução e no melhoramento genético de peixes; na nutrição e na alimentação de espécies aquícolas com a produção de rações mais sustentáveis que diminuam impactos ambientais, propiciem a conservação e o manejo de recursos pesqueiros; na sanidade; no processamento agroindustrial de pescado; nos sistemas de produção aquícola; no tratamento e no reúso de efluentes; e no desenvolvimento sustentável da pesca artesanal continental.

A aquaponia é uma importante contribuição a alguns desses desafios mencionados. Entretanto, o sistema aquapônico também possui desafios a serem superados para que aumente cada vez mais o número de adeptos à atividade. Dos desafios na aquaponia, pode-se citar a necessidade de se manter a boa qualidade da água do sistema, atendendo aos peixes, às plantas e às bactérias. Apesar de haver conhecimento para tal, manter o sistema aquapônico no dia a dia é um desafio para muitos produtores, e o desequilíbrio dos nutrientes pode afetar a absorção de outros nutrientes.

Um dos pontos mais críticos e que requer maior atenção é o pH (Tyson, Simonne, Treadwell, White & Simonne, 2008), pois exerce importante função, influenciando na disponibilidade de nutrientes para as plantas. Nutrientes como Fe, Mn, B, Zn e Cu decrescem drasticamente em disponibilidade em níveis de pH superiores a 7,0; nutrientes como Mg, P, Ca e molibdênio (Mo) decrescem em solubilidade em níveis de pH inferiores a 6,0 (Ferri, 1979). O pH ainda exerce influência determinante sobre o ciclo de nitrificação do N, ciclo de maior importância na aquaponia.

As bactérias nitrificantes dos gêneros *Nitrossomonas* e *Nitrobacter*, de ocorrência natural e responsáveis pela nitrificação do amoníaco, são predominantemente aeróbias e têm pH ótimo entre 7,0 e 8,0 (Braz Filho, 2000). Assim, recomenda-se o acompanhamento periódico da água, aferindo-se temperatura, pH e condutividade elétrica, realizando possíveis adições de calcário (Braz Filho, 2000).

Pelo fato de a aquaponia envolver em um mesmo corpo d'água três organismos muito distintos, é de fundamental importância conhecer as necessidades de cada um, para que o pH da água seja mantido numa faixa que atenda a todos (Carneiro, Maria, Nunes & Fujimoto, 2015).

A temperatura também é um dos parâmetros mais importantes, pois pode limitar a produção. Influencia em todas as atividades fisiológicas dos peixes e afeta a eficiência do biofiltro (Sá, 2012). Associado à temperatura está o oxigênio dissolvido, pois sabe-se que esta molécula é utilizada pelos seres vivos para extrair a energia química dos nutrientes. A velocidade do metabolismo do peixe irá variar em função da disponibilidade de energia das células. Logo, quanto maior for a concentração desse gás no meio, maior será a taxa de crescimento dessas células (Sá, 2012). A concentração de oxigênio dissolvido depende da temperatura da água, ou seja, quanto maior a temperatura, menor será sua concentração no meio. Espécies tropicais são mais resistentes à hipóxia, em relação aos peixes de água fria (Trussell, 1972; Braz Filho, 2000).

Outro importante parâmetro que deve ser avaliado é a amônia, proveniente das excretas dos peixes, tanto fecais como branqueais, resultante do metabolismo proteico e também da ração não consumida (Braz Filho, 2000; Cavero et al., 2004; Sá, 2012). A amônia não ionizada é tóxica, mas em contato com a água é convertida em amônia ionizada, que é a forma atóxica. Essas duas formas encontradas no ambiente, somadas, formam a amônia total, que é afetada de acordo com o pH e a temperatura da água (De Oliveira, 2016), como pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2. Aumento na concentração de amônia não ionizada conforme o aumento da temperatura (Braz Filho, 2000).

pH	12°C	16°C	20°C	28°C	32°C
7,0	0,2	0,3	0,4	0,7	1,0
7,4	0,5	0,7	1,0	1,7	2,4
7,8	1,4	1,8	2,5	4,2	5,7
8,2	3,3	4,5	5,9	11,0	13,2
8,6	7,9	10,6	13,7	21,8	27,7
9,0	17,8	22,9	28,5	41,2	49,0
9,2	35,2	42,7	50,0	63,8	70,8
9,6	57,7	65,2	71,5	81,6	85,9
10,0	68,4	74,8	79,9	87,5	90,6

Fonte: Braz Filho, 2000.

Em sistemas aquapônicos, a manipulação de dietas formuladas, a implantação de biofiltros para retenção dos nutrientes, o monitoramento da qualidade da água, a adoção de tecnologia adequada para cada local específico e a remoção de sólidos (Piedrahita, 2003) devem ser utilizados como estratégia para minimizar possíveis impactos, inclusive porque são eles que disponibilizam o nitrato.

O maior número de trabalhos disponíveis é proveniente da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), apontando a necessidade de promover a aquaponia em outras regiões do país, principalmente naquelas que passam por problemas de escassez hídrica, já que a técnica pode ser uma solução. A aquaponia, dentro de suas limitações, é uma técnica viável para a produção de alimentos saudáveis de maneira sustentável. Herbert & Herbert (2008) e Braz Filho (2000) listaram as desvantagens do sistema de aquaponia, como dependência contínua de energia elétrica; limitações quanto à utilização de agrotóxicos e antibióticos; conhecimento em diferentes áreas, como Engenharia, Hidráulica, Zootecnia, Olericultura, entre outras; investimento inicial alto; e pouca tecnologia difundida no Brasil.

A dependência contínua de energia elétrica pode ser reduzida por meio do uso das energias solar e eólica. De acordo com Silva (2017), o uso de energia solar ou de aerogerador para funcionamento da bomba e dos compressores de ar pode reduzir os custos com energia elétrica. Porém, pesquisas em relação a isso precisam ser executadas.

A aquaponia, quando comparada com sistemas de produção de peixes em recirculação ou com sistemas hidropônicos, separadamente, torna-se mais complexa, o que exige maior conhecimento e acompanhamento técnico. Esse fato limita alguns produtores a deixar a hidroponia e aderir à aquaponia. No entanto, tal processo já vem ocorrendo com sucesso no interior de São Paulo, onde algumas propriedades que trabalhavam com hidroponia clássica, em que nutrientes eram dissolvidos em água e posteriormente ofertados às hortaliças, estão adotando a aquaponia (Graber & Junge, 2009).

Segundo De Oliveira (2016), para a aquaponia ser mais promissora, necessita-se de mais estudos e de melhoramento genético para as espécies de peixe e planta apresentarem maior proximidade das exigências ao meio de cultivo, aumentando assim a produtividade. Em todo o contexto abordado, o desenvolvimento de pesquisas pode solucionar os desafios pelos quais a aquaponia está passando, por ser uma técnica relativamente nova no país.

Entretanto, apesar do mercado promissor dos produtos provenientes da atividade aquapônica, deve-se analisar a atividade do ponto de vista financeiro para poder comparar com outras atividades

que produzem o mesmo tipo de produto, como a aquicultura e a hidroponia.

Na piscicultura, o custo com ração é considerado o mais importante entre os custos variáveis. Assim, deve-se usá-la da melhor maneira possível para uma melhor produtividade (Martin, Scorvo Filho, Sanches, Novato & Ayrosa, 1995). Ayroza, Romagosa, Ayroza, Scorvo Filho & Salles (2011) constataram que o custo com ração variou de 48,21 a 55,29% na participação do custo operacional.

Na hidroponia, segundo Geisenhoff et al. (2009), em termos de custo operacional, a mão de obra representou 56,87%, seguida pelo custo de insumos (14,22%), energia (7,11%) e transporte (21,32%). Os custos em aquaponia podem ser considerados um investimento inicialmente mais oneroso, por considerar a necessidade de se investir em tanques, galpão, bomba de água, soprador de ar, forros e placas flutuantes (Rakocy, Bailey, Martin & Shultz, 2000).

As maiores parcelas de custo variável referem-se à eletricidade e à mão de obra, que representam 23 e 57% do sistema de produção de vegetal, respectivamente. Já em sistema de produção de peixes, os maiores custos são com ração, eletricidade e mão de obra, — 52, 24 e 14%, respectivamente. Ao considerar os sistemas em conjunto, os custos mais elevados são com mão de obra, eletricidade e ração, respectivamente 48, 23 e 11% (Tokunaga, Tamaru, Ako & Leung, 2015). Sendo assim, em sistema de aquaponia, o custo com a ração é relativamente menor comparado ao sistema de piscicultura, que representa um custo em torno de 40 a 50% (Kodama, 2015).

CONCLUSÕES

Em virtude dos fatos mencionados nesta revisão, nota-se que o desenvolvimento de sistemas aquapônicos pode e deve ser estimulado por diferentes meios e fins, visto ser uma técnica que apresenta diversas vantagens e benefícios, como menor consumo de água e produção de alimentos sustentáveis. A tilápia (*O. niloticus*) é a espécie de peixe mais cultivada, devido a sua rusticidade e seu pacote tecnológico difundido no mundo. No entanto, há desafios a serem superados para progressão da atividade, como o controle da qualidade da água e a dependência da energia elétrica, atentando-se à circunstância de que é um procedimento relativamente simples, mas que, por englobar diferentes sistemas e três organismos distintos (peixes, plantas e bactérias), pode gerar dúvidas ao ser praticado. Apesar de o Brasil ainda estar caminhando para a consolidação da aquaponia, em outros países, como Alemanha, México e Estados Unidos, o leque de estudos disponíveis permite executar a técnica no Brasil e, com isso, aprimorar ainda mais os estudos na área. A aquaponia pode ser uma solução prática e extremamente útil para o presente e o futuro do país.

REFERÊNCIAS

- ADLER, P. R., HARPER, J. K., WADE, E. M., TAKEDA, F., & SUMMERFELT, S. T. (2000). Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. *Int. J. Recirculating Aquaculture*, 1(1). <http://dx.doi.org/10.21061/ijra.v1i1.1359>.
- ALVES, L. D. S., TAKAHASHI, L. S., BARBOSA, L. J. C., MIASAKI, C. T., LOPES, P. R. M., RIBEIRO, C. C., & SOUZA, C. T. (2015). 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”.
- AMARAL, H. (2013). Influência da rede jundiá na piscicultura do estado de Santa Catarina. In: *Workshop sobre Jundiá: História e Perspectivas* (pp. 266). Passo Fundo: Editora UPF.
- AQUINO, A. D. & ASSIS, R. D. (2005). *Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- ARAÚJO, A. D. F. (2015). *Integração de plantas com espécies nativas de peixes em sistema de aquaponia* [Dissertação de Mestrado]. Florianópolis (SC): Universidade Federal de Santa Catarina.
- AYERS, R. S. & WESTCOT, D. W. (1999). *A qualidade da água na agricultura*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba. (Estudos da FAO Irrigação e Drenagem, 29).
- 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. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(2):231-239.
- BALDISSEROTTO, B. & GOMES, L. C. (2010). *Espécies nativas para piscicultura no Brasil*. Santa Maria: Editora da Universidade Federal de Santa Maria. 606 p.
- BLIDARIU, F. & GROZEA, A. (2011). Increasing the economical efficiency and sustainability of indoor fish farming by means of aquaponics-review. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 44(2):1-8.
- BRAZ FILHO, M. S. P. (2000). *Qualidade na produção de peixes em sistemas de recirculação de água* [monografia]. São Paulo (SP): Centro Universitário Nove de Julho.
- BUZBY, K. M., WEST, T. P., WATERLAND, N. L. & LIN, L. S. (2017). Remediation of flow-through trout raceway effluent via aquaponics. *North Am. J. Aquaculture*, 79(1):53-60. <https://doi.org/10.1080/15222055.2016.1221010>
- CALÓ, P. (2011). *Introducción a la acuaponía*. Argentina: Centro Nacional de Desarrollo Acuícola (CENADAC), Ministério de Agricultura, Ganaderia y Pesca.
- CARNEIRO, P. C. F., MARIA, A. N., NUNES, M. U. C. & FUJIMOTO, R. (2015). *Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros.
- CARNEIRO, P. C. F., MARIA, A. N., NUNES, M. U. C., FUJIMOTO, R. Y., TALAMINI, V., MOTA, P. S. S. DA, MEDEIROS, S. DOS S., SILVA, D. N. DA, SANTOS, J. R. DOS, MELO, L.

- SANTOS, T. S. & OLIVEIRA, Y. S. (2015). *Produção de peixes e vegetais em aquaponia: pesquisas em andamento na Embrapa Tabuleiros Costeiros*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros.
- CARNEIRO, P. C. F., NUNES, M. U. C., MARIA, A. N. & FUJIMOTO, R. Y. (2015). *Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros.
- CASTELLANI, D., CAMARGO, A. F. M. & ABIMORAD, E. G. (2009). Aquaponia: aproveitamento do efluente do berçário secundário do camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) para produção de alface (*Lactuca sativa*) e agrião (*Rorippa nasturtium aquaticum*) hidropônicos. *Bioikos*, 23(2):67-75.
- CAVERO, B. A. S., FILHO, M. P., BORDINHON, A. M., FONSECA, F. A. L. DA., ITUASSÚ, D. R., ROUBACH, R. & ONO, E. A. Tolerância de juvenis de pirarucu ao aumento da concentração de amônia em ambiente confinado. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 39(5): 513-516.
- CORSO (2010). *Uso de sistemas com reciculação em aquicultura*. [Monografia]. Porto Alegre (RS). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CRIVELENTI, L. Z., BORIN, S. & DA SILVA, N. R. (2009). Piscicultura superintensiva associada à hidroponia em sistema de recirculação de água. *Arch. Vet. Sci.*, 14(2). <http://dx.doi.org/10.5380/avs.v14i2.13365>
- DE MEDEIROS, D., KAUTZMANN, R. M. & TAFFAREL, S. R. (2017). Aquaponia: integração entre o manejo intensivo de peixes e o cultivo de vegetais sem solo em um projeto de aplicação domiciliar no estado do Rio Grande do Sul. In: *Sefic 2016*. Canoas: Unilasalle.
- DE OLIVEIRA, S. D. (2016). *Sistema de aquaponia* [Relatório de Projeto]. Jataí (GO): Universidade Federal de Goiás.
- DIEM, T. N. T., KONNERUP, D. & BRIX, H. (2017). Effects of recirculation rates on water quality and *Oreochromis niloticus* growth in aquaponic systems. *Aquacultural Eng.* <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1016%2Fj.aquaeng.2017.05.002>
- DRESHER, A. W., JACOBI, P. & AMEND, J. (2000). Segurança Alimentar Urbana: Agricultura urbana, uma resposta à crise. *Rev. Agricultura Urbana*, 1:1-6.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) (2015). *Fisheries and aquaculture*. Acessado em 30 de dezembro de 2017 em <https://www.embrapa.br/en/tema-pesca-e-aquicultura/nota-tecnica>
- FERRI, M. G. (1979). *Fisiologia vegetal 1*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- GEISENHOF, L. O., PEREIRA, G. M., FARIA, L. C., LIMA JÚNIOR, J. A., COSTA, G. G. & GATTO, R. F. (2009). Viabilidade econômica da produção de alface hidropônica em Lavras – MG. *Agrarian*, 2(6):61-69.
- GOMES, C. L. D., GOLOMBIESKI, I. J., CHIPPARI GOMES, A. R. & BALDISSEROTTO, B. (2000). Biologia do jundiá *Rhamdia quelen* (Teleostei, Pimelodidae). *Ciênc. Rural*, 30(1). <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782000000100029>
- Graber, A., & Junge, R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by

- vegetable production. *Desalination*, 246(1-3):147-156. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.048>
- HERBERT, S. & HERBERT, M. (2008). *Aquaponics in Australia: the Integration of Aquaculture and Hydroponics*. Austrália: Holly Michels.
- HUNDLEY, G. M. C., NAVARRO, R. D., FIGUEIREDO, C. M. G., NAVARRO, F. K. S. P., PEREIRA, M. M., RIBEIRO FILHO, O. P. & SEIXAS FILHO, J. T. (2013). Aproveitamento do efluente da produção de tilápia do Nilo para o crescimento de manjerição (*Origanum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de aquaponia. *Rev. Bras. Agropec. Sust.*, 3(1). <https://doi.org/10.21206/rbas.v3i1.188>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) (2016). *Produção da pecuária municipal*. Acessado em 30 de dezembro de 2017 em https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2016_v44_br.pdf
- JORDAN, R. A., CAVICHIOLO, F., GEISENHOF, L., SANTOS, R. C., SILVEIRA JR., V., DE CAMARGO NEVES FILHO, L., GIORDANO, E. B., OLIVEIRA, R., FIGUEIREDO, M., SANTOS, K., SANTOS, H. & MIRANDA, C. (2016). *Aquicultura em sistema fechado e controlado-integração biodigestor/aquaponia-produção sustentável de peixes, hortaliças e bioenergia*. Acessado em 30 de dezembro de 2017 em <http://www.geprea.com.br/gallery/aquicultura%20em%20sistema%20fechado.pdf>
- JORDAN, R. A., GEISENHOF, L. O., OLIVEIRA, F. C. D., SANTOS, R. C. & MARTINS, E. A. (2018). Yield of lettuce grown in aquaponic system using different substrates. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 22(1):27-31. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n1p27-31>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.025>
- KODAMA, G. (2015). *Viabilidade financeira em sistema de aquaponia* [Dissertação de Mestrado]. Brasília (DF): Universidade de Brasília.
- KUBITZA, F. (2015). Aquicultura no Brasil: conquistas e desafios. *Pan. Aquicultura*, 25(150):10-23.
- LENNARD, W. A. (2004). Aquaponics research at RMIT University, Melbourne Australia. *Aquaponics J.*, 35:18-24.
- LENZ, G. L. (2016). *Produção de alface (Lactuca sativa) em sistema aquapônico com tilápias (Oreochromis niloticus) em bioflocos e baixa salinidade* [Trabalho de Conclusão de Curso]. Florianópolis (SC): Universidade Federal de Santa Catarina.
- LEWIS, W. M., YOPP, J. H., SCHRAMM JR., H. L., & BRANDENBURG, A. M. (1978). Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. *Trans. Am. Fisheries Soc.*, 107(1):92-99. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1978\)107%3C92:UOHTMQ%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1978)107%3C92:UOHTMQ%3E2.0.CO;2)
- MARENGONI, N. G. (2006). Produção de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (linhagem chitralada), cultivada em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem. *Arch. Zootec.*, 55(210).
- MARTAN, E. (2008). Polyculture of fishes in aquaponics and recirculating

aquaculture. *Aquaponics J.*, 48:28-33.

MARTIN, N. B., SCORVO FILHO, J. D., SANCHES, E. G., NOVATO, P. F. C. & AYROSA, L. M. S. (1995). Custos e retornos na piscicultura em São Paulo. *Inform. Econ.*, 25(1):9-47.

NOWOSAD, J., ŻARSKI, D., BILAS, M., DRYL, K., KREJSZEFF, S. & KUCHARCZYK, D. (2013). Dynamics of ammonia excretion in juvenile common tench, Tinca tinca (L.), during intensive rearing under controlled conditions. *Aquacult. Int.*, 21(3):629-637. <http://doi.org/10.1007/s10499-012-9596-3>

PIEDRAHITA, R. H. (2003). Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1-4):35-44. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4)

PINHEIRO, I. C. (2015). *Produção da halófito Sarcocornia ambigua e Litopenaeus vannamei em sistema de aquaponia com bioflocos* [Dissertação de Mestrado]. Florianópolis (SC): Universidade Federal de Santa Catarina.

RAKOCY, J. (2007). Ten guidelines for aquaponic systems. *Aquaponics J.*, 46:14-17.

RAKOCY, J. E., BAILEY, D. S., MARTIN, J. M. & SHULTZ, C. (2000) Tilapia production systems for the lesser antilles and other resource limited tropical areas. In: *5th International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. Rio de Janeiro: Anais.

RAKOCY, J. E., BAILEY, D. S., SHULTZ, R. C. & THOMAN, E. S. (2004). Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. In: *New Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture* (pp. 12-16). Manila.

RAKOCY, J. E., MASSER, M. P. & LOSORDO, T. M. (2006). Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. *SRAC*, 454:1-16.

RIGO, C. D. (2017). *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]. Florianópolis (SC): Universidade Federal de Santa Catarina.

SÁ, M. V. (2012). *Limnocultura: limnologia para aquicultura*. Fortaleza: Edições UFC.

SAVIDOV, N. A., HUTCHINGS, E. & RAKOCY, J. E. (2005). Fish and plant production in a recirculating aquaponic system: a new approach to sustainable agriculture in Canada. In: *International Conference and Exhibition on Soilless Culture* (pp. 209-221). Singapura: Anais. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.742.28>

SILVA, C. E. V. D. (2017). *Montagem e operação de um sistema de aquaponia: um estudo de caso de agricultura urbana para produção de jundiá (Rhamdia quelen), tilápiá (Oreochromis niloticus) e alface (Lactuca sativa)* [Monografia]. Florianópolis (SC). Universidade Federal de Santa Catarina.

SOARES, T. M. (2007). *Utilização de águas salobras no cultivo da alface em sistema hidropônico NFT como alternativa agrícola condizente ao semi-árido brasileiro* [Tese de Doutorado]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

TOKUNAGA, K., TAMARU, C., AKO, H. & LEUNG P. (2015). Economics of Small-scale Commercial Aquaponics in Hawaii. *World Aquacult. Soc.*, 46(1):20-32.

<https://doi.org/10.1111/jwas.12173>

TRUSSELL, R. P. (1972). The Percent Un-Ionized Ammonia in Aqueous Ammonia Solutions at Different pH Levels and Temperatures. *J. Fisheries Board Canada*, 29(10):1505-1507. <https://doi.org/10.1139/f72-236>

TYSON, R. V., SIMONNE, E. H., TREADWELL, D. D., WHITE, J. M. & SIMONNE, A. (2008). Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponic system with perlite biofilters. *HortScience*, 43(3):719-724.

TYSON, R. V., TREADWELL, D. D. & SIMONNE, E. H. (2011). Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *Hort Technol.*, 21(1):6-13.