
AQUAPONIA: ALTERNATIVAS DE UMA CIÊNCIA EM ASCENSÃO

OLIVEIRA, Emerson José

Graduando

UFRPE

emerson.jsoliveiraa@gmail.com

MELO, Ralini Ferreira

Doutora

UFRPE

fmralini@yahoo.com.br

SILVA, Márcia Gomes

Graduanda

UFRPE

peixebom.pesca@outlook.com

PESSOA, Willy Vila Nova

Doutor IFPE

[willy.vilanova@vitoria.ifpe.edu
.br](mailto:willy.vilanova@vitoria.ifpe.edu.br)

AQUAPONIA: ALTERNATIVAS DE UMA CIÊNCIA EM ASCENSÃO

RESUMO

A aquaponia é um sistema integrado que combina elementos de sistemas de recirculação para aquicultura (RAS) e o cultivo de plantas sem o solo (hidroponia), ou seja, é a produção integrada de peixes, camarões e outros organismos aquáticos com o cultivo de plantas. Tal atividade se insere na perspectiva de novas tecnologias de produção de menor impacto ambiental, pois preenche os requisitos rumo a um futuro promissor no âmbito agropecuário, uma vez que utiliza pequenos espaços em ambientes controlados, baixo uso de água, ausência do uso de agrotóxicos e possui alta produtividade. O objetivo do presente estudo foi caracterizar a aquaponia e discutir os seus principais conceitos amparados pela bibliografia disponível na internet. Embora a aquaponia já fosse atividade praticada há séculos, como ciência, o impacto científico em número de publicações somente foi possível em 2010. Em menos de uma década é compreensível que a atividade da aquaponia ainda esteja balizando seus passos promissores no mundo acadêmico, porém, é recente e necessita amadurecer e formar bases sólidas socioeconômicas para fortalecer a atividade comercial e de larga escala. Todavia, é destaque a sustentabilidade da atividade, pois, traz qualidade na alimentação das famílias de áreas urbanas e rurais.

PALAVRAS-CHAVE: tecnologia de produção, sustentabilidade, alimentação saudável.

ABSTRACTS

Aquaponics is an integrated system that combines elements of recirculation systems for aquaculture (RAS) and the cultivation of plants without soil (hydroponics), is the integrated production of fish, shrimp and other aquatic organisms with the cultivation of plants. This activity is part of the perspective of new production technologies with a lower environmental impact, since it fulfills the requirements for a promising future in the agricultural sector, since it uses small spaces in controlled environments, low water use, no use of pesticides and high productivity. The aim of the present study was to characterize aquaponics and discuss their main concepts supported by the literature available on the internet. Although aquaponics had been practiced for centuries as a science, the scientific impact on the number of publications was only possible in 2010. In less than a decade it is understandable that aquaponics activity is still marking its promising steps in the academic world, is recent and needs to mature and form solid socio-economic foundations to strengthen commercial and large-scale activity. However, the sustainability of the activity is highlighted, since it brings quality in the food of families in urban and rural areas.

Key-word: production technology, sustainability, healthy eating

1. INTRODUÇÃO

A busca por novas tecnologias de produção de menor impacto ambiental é uma preocupação em escala global (Junge *et al.* 2017). Parte dessas preocupações estão relacionadas com o crescimento populacional e a oferta de alimentos no mundo, mas isso não é tudo. Há previsões científicas preocupantes sobre o aumento na demanda de alimentos e o impacto ambiental dos sistemas alimentares (Springmann *et al.* 2018). As estimativas indicam que a oferta de alimentos não será suficiente para a população mundial a qual será de 9,1 bilhões de habitantes em 2050, sendo necessário um incremento substancial da ordem de 70% (FAO, 2018¹).

O incremento na produção somente é possível com a implantação de sistemas de alta produtividade, porém, os processos de produção de alimentos de origem animal e vegetal são regulados por mudanças climáticas, usos de territórios, perdas de biodiversidade, degradação dos recursos hídricos, além da poluição terrestre e aquática (Springmann *et al.* 2018). Especificamente para produtos de origem vegetal, o uso de agrotóxicos é um desafio distante de ser superado, uma vez que há uma indústria com interesses econômicos agressivos, principalmente no Brasil.

O uso de agrotóxicos na agricultura brasileira é um problema de saúde pública, dadas as contaminações no ambiente, em alimentos e as intoxicações na saúde humana já registradas (Pignati *et al.* 2017). No entanto, o Brasil persiste na concepção dos cultivos agrícolas com o uso de defensivos agrícolas de maneira indiscriminada e com uma legislação de incentivos ao uso de compostos químicos nocivos à saúde. Ao contrário do Brasil, a União Europeia (EU) possui restrições severas para os diferentes tipos de agrotóxicos inclusive com dosagens dramaticamente menores que as praticadas no Brasil. Como resultado, o país alcançou o primeiro lugar no ranking mundial no consumo de agrotóxicos (Bombardi, 2017).

Por outro lado, há alternativas que são capazes de driblar parte desses gargalos; produzir sustentavelmente e de modo eficiente. A aquaponia insere-se nesse contexto, pois preenche os requisitos rumo a um futuro promissor no âmbito agropecuário, uma vez que utiliza pequenos espaços em ambientes controlados,

¹ FAO - *The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050*. Rome. 224 pp.

baixo uso de água, ausência do uso de agrotóxicos e possui alta produtividade (Carneiro *et al.* 2015; Rakocy *et al.* 2006; Losordo & Westerman, 2006; Somerville *et al.* 2014; Goddek *et al.* 2019). A aquaponia têm despertado a atenção de pesquisadores como um sistema inovador (Mamat *et al.* 2016).

A presente revisão tem a intenção de caracterizar a aquaponia e discutir os seus principais conceitos amparados pela bibliografia disponível na internet. Adicionalmente, serão justificados os possíveis motivos para o grande interesse recente da comunidade científica e produtores na produção aquapônica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Rakocy (1989), a aquaponia é um sistema multitrófico integrado que combina elementos de sistemas de recirculação para aquicultura (RAS) e o cultivo sem o solo (hidroponia). Os sistemas RAS são eficientes em termos de uso da água com uma economia de 90% do volume utilizado na aquicultura convencional (Timmons & Ebeling, 2013). A união da aquicultura com a hidroponia somente reforça o potencial produtivo da aquaponia familiar e comercial (Somerville *et al.* 2014; Goddek *et al.* 2019).

A aquicultura possui uma taxa de crescimento anual superior às aves, suínos, ovinos, gado e à pesca (FAO, 2018). Indiscutivelmente, a aquicultura no contexto mundial representa hoje uma grande fatia de mercado, superando a produção de bovinos e ovinos, e liderando a produção mundial quando somado com a pesca. De fato, o pescado oriundo da aquicultura e da pesca possui uma grande influência econômica no agronegócio no âmbito global, notadamente a indústria da aquicultura (Mamat *et al.* 2016).

Além disso, na última década a aquicultura mundial cresceu o dobro que a avicultura a qual detém a maior taxa de crescimento perante os principais setores de produção animal. Ainda, segundo as estimativas mais recentes, há uma expectativa de que a aquicultura supere a pesca extrativa em 2020, tornando-se o setor com maior produção de proteína animal de origem aquática no mundo, de acordo com a OCDE² e a FAO³. Esses argumentos reforçam a ideia de que a aquicultura é a atividade agropecuária mais rápida em termos de resultados produtivos e

² OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

³ FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

uma das poucas capazes de responder com folga ao crescimento populacional, o que pode contribuir para o combate à fome em todo o mundo (FAO, 2018).

Dentre os principais setores da aquicultura, a piscicultura representa a maior fatia, com 54 milhões de toneladas de um total de 80 milhões de toneladas produzidas, principalmente para espécies de peixes de água doce (FAO, 2018). Nesse contexto, a piscicultura brasileira vem crescendo e ampliando a produção, apesar da crise econômica vigente, com um crescimento 4,5% e uma produção de 722.560 toneladas em 2018 (Peixe BR, 2019). O principal mercado da piscicultura brasileira é a Tilápia e os peixes redondos com 52% e 40%, respectivamente, da produção total nacional (IBGE, 2018). O Brasil, mantém a quarta posição mundial em produção da Tilápia, atrás da China, Indonésia e Egito, mas à frente das Filipinas e Tailândia, que têm uma expressiva participação no cenário global (Peixe BR, 2019). A significativa produção aquícola brasileira da Tilápia e de peixes redondos, de certa maneira, direcionará a utilização dessas espécies nos sistemas aquapônicos, uma vez que são espécies de relativa facilidade na obtenção de alevinos e que possuem um crescimento satisfatório ao confinamento nas condições ambientais do país. Segundo Yep & Zheng (2019), a Tilápia é a espécie mais utilizada na aquaponia no mundo.

As pesquisas sobre este assunto no Brasil são consideradas incipientes, pois pouco se conhece sobre esse panorama, embora haja relatos de iniciativas em pequena escala e/ou familiar em centros de pesquisa, escolas, universidades, institutos federais, e em sistemas domésticos, entretanto a aquaponia comercial brasileira é ainda mais escassa, pois somente foi relatada em São Paulo, Belo Horizonte, Goiás, Mato Grosso e Rio Grande do Sul (Willy Vila Nova, comunicação pessoal, 3 de Junho, 2019⁴).

Por outro lado, há diversas informações técnico-científicas oriundas da Europa, Estados Unidos, Austrália, México, Chile, Índia, China, Malásia, Japão e oriente médio (Carneiro *et al.* 2015; Love *et al.* 2015; Mamat *et al.* 2016; Somerville *et al.* 2014). Sabe-se que desde a década de 1970, há pesquisas pioneiras voltada a aquaponia comercial na Universidade das Ilhas Virgens Americanas, nome dado aos

⁴ Professor no Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), com pesquisas sobre a Aquaponia no Brasil; Projeto de pesquisa cadastrado: “Aquaponia pernambucana: Bases para o desenvolvimento rural e urbano”, em vigor desde setembro de 2018.

sistemas aquapônicos do pesquisador James Rakocy, da abreviação “UVI” (*University of Virgin Islands*), além do estudo do pesquisador Naegel: “*Combined production of fish and plants in recirculating water*” publicado em 1977.

Somente em 2010 a literatura científica para o tema “aquaponia” se tornou mais robusta (Junge *et al.* 2017). Apesar de ser reconhecida como uma das “dez tecnologias que podem mudar as nossas vidas” pelo Parlamento da União Europeia (EU) (Van Woensel *et al.* 2015), ainda faltam pesquisas. Contraditoriamente, o termo “aquaponia” não é mencionado no último documento da FAO: “*The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050*”, com estimativas na demanda de alimentos para as próximas décadas.

3. METODOLOGIA

Essa revisão foi realizada utilizando uma pesquisa no Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br>) para a busca de periódicos científicos intitulados como “aquaponic”, metodologia semelhante ao estudo de Junge *et al.* (2017). Segundo esses autores, somente a partir de 2010 as pesquisas tomaram robustez para a aquaponia, sendo constatado um crescimento exponencial.

De fato, foi constatado um crescimento de 548% na produção científica comparando duas séries temporais distintas entre os anos 2000 e 2009 (717 registros), e entre 2010 e 2019 (3.930 registros). Somente em 2019 (7 meses), foram encontrados 343 registros, representando quase metade das publicações da primeira série temporal de nove anos (2000 a 2009). A média diferiu drasticamente no número absoluto de publicações registrada entre 2000 e 2009 (6,6 registros/ mês) comparativamente a 2019 (49 registros/mês), demonstrando um aumento do interesse sobre a aquaponia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar da existência da aquaponia em ilhas estacionárias conhecidas como “*Chinampas*” construídas pela civilização asteca entre 1150 e 1350 AC (Turcios *et al.* 2014), e da introdução da piscicultura em campos de arroz no sudeste da Ásia há 1500 anos (Coche, 1967), a aquaponia somente alavancou como ciência em 1970 nos Estados Unidos com os estudos pioneiros de James Rakocy. Até a primeira década do ano 2000 poucos artigos foram publicados no âmbito da aquaponia. Em outras palavras, a

ciência da aquaponia com impacto científico em número de publicações somente foi possível em 2010. Em menos de uma década é compreensível que a atividade da aquaponia ainda esteja balizando seus passos promissores no mundo acadêmico.

Consequentemente, a aquaponia comercial, ainda mais recente, tem se estruturado em iniciativas planejadas em grupos de pesquisa articulados em diversos países (Goddeck *et al.* 2015), visando o estabelecimento de sistemas eficientes.

A produção integrada é uma solução real para diversos problemas como citados anteriormente (crescimento populacional, segurança alimentar, necessidade de incremento de produção e da produtividade dos sistemas integrados), porém há dificuldades inerente a atividade da aquaponia, principalmente em termos de tecnologia e o melhoramento do sistema de cultivo (Yep & Zheng, 2019).

No sistema produtivo, os vegetais recebem os nutrientes provenientes das rações - artesanais, comerciais; ou com uma alimentação suplementar utilizando PANC's (Plantas Alimentícias Não Convencionais) - através bioconversão da matéria orgânica de peixes e camarões (Carneiro *et al.* 2015). Sem o correto dimensionamento e utilização de materiais adequados (mídias, bombas, compressores de ar, entre outros) a disponibilização de nutrientes essenciais é diminuída.

De uma forma geral, os resíduos dos peixes e/ou camarões (amônia total – NH_4^+) são transformados em nitrato (NO_3^-) na presença do oxigênio (Hu *et al.* 2015). Primeiramente, a amônia é oxidada em nitrito (NO_2^-) através de bactérias (*Nitrossomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrosospira*, *Nitrosolobus*, *Nitrosovibrio* sp., etc.). O NO_2^- resultante é oxidado a NO_3^- (*Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira*, *Nitrospina* sp., etc.) (Ebeling *et al.*, 2006; Gerardi, 2002; Panuvatvanich et al., 2009; Wongklew *et al.* 2017).

Os processos de bioconversão precisam ser mantidos 24 horas por dia em um sistema de bombeamento (recirculação) que leva a água rica em matéria orgânica dos peixes para o sistema hidropônico que devolve a água limpa aos peixes fechando o ciclo de recirculação da água (Rakocy *et al.* 2006; Losordo & Westerman, 2006). Sendo assim, é interessante ter um gerador de energia para os cultivos comerciais que trabalham com densidades superiores e requerem mais oxigênio dissolvido na água. A falta de eletricidade muitas vezes pode ocasionar a perda parcial ou total de vegetais e peixes, dependendo da densidade de estocagem e da quantidade de horas sem energia elétrica (Figura

1).

Além disso, é importante estar atento possíveis acidentes elétricos, e instalar dispositivos de corrente residual (RCD), no caso de vazamento de corrente evitando choques elétricos (Somerville *et al.* 2014).

Figura 1. Sistema de aquaponia com canaletas com breve interrupção do fluxo de água por queda de energia



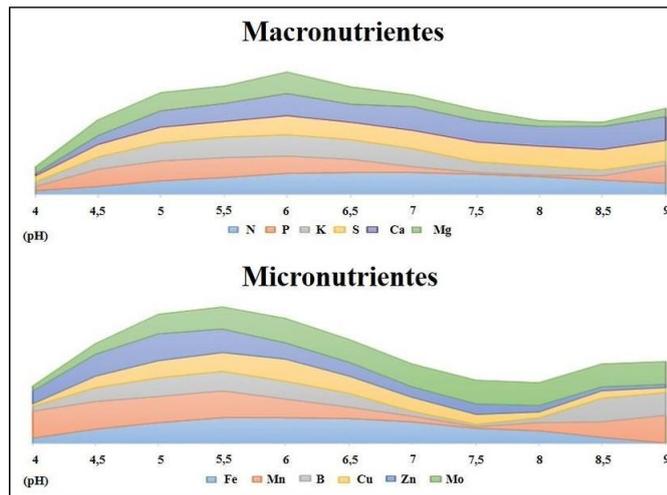
Fonte: PESSOA (2019)

Outro fator importante de ser abordado é a deficiência de micro e macro nutrientes para os vegetais que está diretamente relacionada aos processos de nitrificação e a qualidade de água, principalmente do pH. As bactérias nitrificantes convertem a matéria orgânica adequadamente num intervalo de pH entre 6 a 8,5, porém o intervalo de tolerância para a maioria das plantas está situado entre 5,5 a 7,5 (Somerville *et al.* 2014) (Figura 2). O intervalo inferior está abaixo da tolerância para peixes e bactérias, e a maioria das plantas prefere condições levemente ácidas. Se o pH vai para fora desta faixa, ou seja, acima de 7.5, as plantas experimentam o bloqueio de nutrientes, o que significa que, embora os nutrientes sejam presente na água as plantas são incapazes de usar eles. Isto é especialmente verdade para Fe^+ , Ca^+ , K^+ e Mg^+ (Rakocy *et al.* 2006; Carneiro *et al.* 2015; Somerville *et al.* 2014; Yep & Zheng, 2019).

As bactérias bioconvertem adequadamente dentro desta faixa (5,5-7,5), e qualquer diminuição na atividade bacteriana pode ser compensada com um biofiltro maior e/ou adição de

médias filtrantes.

Figura 2. Influência do pH do substrato na disponibilidade de nutrientes para as plantas em solos orgânicos



Fonte: Adaptado de Taiz & Zeiger (2013)

As plantas saudáveis demonstram uma coloração viva, sem lesões foliares ou mudanças de coloração (Figura 3). Se deficiências nutricionais ocorrerem, é importante identificar qual elemento está ausente ou faltando no sistema e ajustá-lo de acordo com o adubo suplementar ou aumentando a mineralização.

Segundo o manual de aquaponia familiar da FAO (Artigo Técnico nº 589), existem seis nutrientes que as plantas precisam em quantidades relativamente elevadas: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre (Somerville *et al.* 2014), sendo esses macronutrientes mais requeridos em quantidade pelos vegetais.

A maioria dos micronutrientes, quando deficientes, envolvem o amarelecimento das folhas (como ferro, manganês, molibdênio e zinco). No entanto, as deficiências de cobre fazem com que as folhas escureçam sua cor verde (Somerville *et al.* 2014). O ferro (Fe^+) é usado nos cloroplastos e na cadeia de transporte de elétrons, e é crítico para fotossíntese, sendo assim, quando detectada a amarelidão nas folhas adiciona-se uma solução concentrada com quelato de ferro numa dosagem de 5 ml/m², mantendo uma concentração no sistema de aproximadamente 2 mg/L (Somerville *et al.* 2014). A viabilidade da aquaponia

passa, necessariamente pela produção de nutrientes e por suplementações corretivas do sistema.

Figura 3. Comparação de uma alface americana saudável (esquerda) e uma alface lisa após restrição de Fe^+ e N^+ por 14 dias



Fonte: Própria Grupo GABS⁵ (2019).

Outro aspecto fundamental para a aquaponia é a viabilidade econômica. A viabilidade comercial da aquaponia expandiu-se bastante nos últimos anos. Sendo, assim, a aquaponia comercial pode desempenhar um papel fundamental nos próximos anos. Alguns estudos demonstram a viabilidade da

⁵ GABS – Grupo de Pesquisa em Aquicultura, Biotecnologia e Sustentabilidade do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE) campus Vitória de Santo Antão/PE: https://deskgram.net/gabs_ifpe

aquaponia (Goodek *et al.* 2015; Junge *et al.* 2017; Yep & Zheng, 2019), incluindo dados interessantes de taxa interna de retorno (TIR), acima de 600%, em um sistema brasileiro de pequena escala (Kodama, 2015).

Também, ainda há muito a ser aprendido sobre os efeitos ambientais, operacionais e socioeconômicos da aquaponia (Junge *et al.* 2017). É sabido que boa parte dos aquaponistas no mundo todo estão nos centros urbanos ou próximos dele. A agricultura urbana possibilita diminuir custos com o transporte e as perdas, com o incentivo à venda direta e aumento da lucratividade do pequeno ao grande produtor. As cidades inteligentes precisam ser sustentáveis a partir da resolução desses problemas, além do que a aquaponia poderia representar um sistema agrícola integrado no contexto urbano, dos produtores aos consumidores, de maneira integrada, devido às cadeias de abastecimento curtas e aos alimentos orgânicos frescos, e livres de pesticidas (Santos, 2016). As plantas de cultivo de aquaponia podem ser implementadas em antigos edifícios industriais abandonados, com as vantagens de restabelecer uma atividade sustentável sem aumentar a pressão de urbanização do campo (Goddek *et al.*, 2015).

4. CONCLUSÕES

O mundo está enfrentando uma série de problemas graves com mudanças climáticas, crescimento populacional, degradação do solo e poluição, escassez de água, segurança alimentar, entre outros. A aquaponia é um sistema integrado que se encaixa nesse contexto, embora muitos trabalhos tenha o foco voltado para a parte científica da ciência, mas com escassas contribuições para a aquaponia comercial. As regiões áridas, como por exemplo, no sertão brasileiro, regiões desérticas ou em áreas urbanas e rurais sem acesso a alimento de qualidade serão as mais beneficiadas pelo desenvolvimento da aquaponia, inclusive a nível doméstico/ familiar, trazendo qualidade na alimentação das famílias.

As cidades inteligentes podem ser cada vez mais sustentáveis através da aquaponia urbana. Por outro lado, sabe-se que a ciência da aquaponia é recente e necessita amadurecer e formar bases sólidas socioeconômicas para a atividade. Os aspectos técnicos parecem ser secundários ao estabelecimento da aquaponia, pois há informações disponíveis na literatura e que já são aplicadas comercialmente, inclusive no Brasil (Aquanature - <http://www.aquanatureaquaponia.com.br/>; BeGreen - <https://www.begreen.farm/>; Equilíbrio Aquaponia -

<http://equilibrium.org.br/ees-aquaponia/>; Colheita infinita - <https://www.toopics.com/colheitainfinita>).

É importante, o produtor estar atento a aspectos técnicos básicos de dimensionamento, manejo, qualidade de água e nutrição das plantas (macro e micronutrientes), pois estes devem influenciar diretamente na viabilidade econômica dos sistemas de aquaponia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOMBARDI, L.M. **Geografia do Uso de Agrotóxicos no Brasil e no mundo**. Universidade de São Paulo – FFLCH (USP). São Paulo. 296 p. 2017.
2. CARNEIRO, P.C.F., MORAIS, C.A.R.S, NUNES, M.U.C., MARIA, A.N., FUJIMOTO, R.Y. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia**. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros (ISSN 1678-1937, 189). 27 p. 2015.
3. COCHE, A.G. **Fish culture in rice fields a worldwide synthesis**. *Hydrobiologia*, 30, 1-44. 1967.
4. EBELING, J.M., TIMMONS, M.B., BISOGNI, J.J. **Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems**. *Aquaculture* 257, 346-358. 2006.
5. KODAMA, G. **Viabilidade financeira em Sistema de aquaponia**. Brasília, Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília. 62 p. 2015
6. FAO - Food and Agriculture Organization the United Nations. 2018. **The state of the world fisheries and aquaculture**: Roma.
7. FAO - The future of food and agriculture – **Alternative pathways to 2050**. Rome. 224 pp. 2018.

-
8. GERARDI, M.H., **Nitrification and Denitrification in the Activated Sludge Process**. John Wiley and Sons, Inc, New York. 2002.
 9. HU, Z., LEE, J.W., CHANDRAN, K., KIM, S., BROTTTO, A.C., KHANAL, S.K. **Effect of plantspecies on nitrogen recovery in aquaponics**. *Bioresour. Technol.* 188, 92-98. 2015.
 10. MAMAT, N.Z.; SHAARI, M.I.; WAHAB, N.A.A.A. **The Production of Catfish and Vegetables in an Aquaponic System**. *Fish Aquaculture Journal*, 7:4. 2016. DOI: 10.4172/2150-3508.1000181.
 11. LOSORDO, T.M.; WESTERMAN. P.W. **An analysis of biological, economic, and engineering factors affecting the cost of fish production in recirculating aquaculture systems**. *Journal of the World Aquaculture Society* 25:193-203, 2007.
 12. PANUVATVANICH, A., KOOTTATEP, T., KONE, D. **Influence of sand layer depth andpercolate impounding regime on nitrogen transformation in vertical-flowconstructed wetlands treating faecal sludge**. *Water Res.* 43, 2623–2630. 2009.
 13. PIGNATI, W.A.; LIMA, F.A.N.S.; LARA, S.S.; CORREA, M.L.M. BARBOSA, J.R.; LEÃO, L.H.C. **Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para vigilância em saúde**. *Ciência e Saúde Coletiva*, 22 (10): 3281-3293. 2017. DOI: 10.1590/1413-812320172210.17742017.
 14. SPRINGMANN, M.; CLARCK, M.; MASON D’CROZ, D.; WIEBE, K.; BORDISKY, B.L.; LASSALETTA, L.; VRIES, W. et al. **Options for keeping the food system within environmental limits**. *Nature*. volume 562, pages 519–525. 2018. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>.
 15. RAKOCY, J. E.; LOSORDO, T. M.; MASSER. M. P. **Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics - Integrating fish and plant culture**. Southern Reg. Aquaculture Center Publications No. 454. 2006.
 16. SANTOS, M.J.P.L. **Smart cities and urban areas – Aquaponics as innovative urban agriculture**. *Urban Forestry & Urban Greening* 20, 402-406. 2016.

-
17. SOMERVILLE, C. et al. **Small-scale aquaponic food production - Integrated fish and plant farming**. Rome: FAO, 2014.
 18. TIMMONS, M.B., EBELING, J.M. **Recirculating Aquaculture**, 3rd ed. Ithaca Publishing Company LLC, Ithaca, NY. 2013.
 19. TURCIOS, A.E.; PAPENBROCK, J. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents-What Can We Learn from the Past for the Future? *Sustainability*, 6, 836-856. 2014.
 20. VAN WOENSEL, L.; ARCHER, G.; PANADES-ESTRUCH, L.; VRSCAJ, D. **Ten Technologies Which Could Change Our Lives**; European Union: Brussels, Switzerland, 2015.
 21. YEP, B. & ZHENG, Y. **Aquaponics trends and challenges - A review**. *Journal of Cleaner Production* 228. 1586 e 1599. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.290>.
 22. WONGKLEW, S.; CHANDRAN, K.; HU, Z.; LEE, J. W. **Nitrogen transformations in aquaponics systems: A review**. *Aquacultural Engineering* 76. 9-19.2017.