




CAPÍTULO 8

Produção Alimentar Sustentável e Economia Circular: O Potencial da Aquicultura Multitrófica

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.526172606018>

Vanessa Bertoldo Martins

Amanda Dartora

Maisa de Lima Lasala

Eduardo da Silva

Maurício Gustavo Coelho Emerenciano

Daniel de Rosa Farias

Delano Dias Schleder

Jaqueline Inês Alves de Andrade

Adolfo Jatobá

INTRODUÇÃO

Muito se discute sobre o consumo consciente dos recursos naturais utilizados para produção de alimentos e de fato, o assunto merece o destaque que tem. O desafio da nova economia consiste em inovar em tecnologias úteis, tanto aos indivíduos, quanto para a sociedade, levando em consideração os limites ambientais e os recursos naturais (Aguirre & Pereira, 2023). Atualmente, é preciso ter atenção ao uso da água, pois é um dos recursos naturais mais importantes para a sobrevivência e manutenção da vida em nosso planeta. Neste sentido, garantir a segurança hídrica é fundamental para assegurar condições de sobrevivência às gerações futuras (Fonseca et al., 2021).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), a segurança hídrica só é possível quando há disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para atender às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos (ANA, 2024). O uso dos recursos hídricos está relacionado com alguns fatores, como: uso do solo, poluição, aumento populacional, expansão desordenada de áreas urbanas entre outros (ANA, 2024).

A relação entre a produção de alimentos e o consumo hídrico estão diretamente relacionados. A agricultura é responsável pelo consumo de 70% da água no mundo, neste sentido, não há como garantir segurança alimentar sem viabilizar a segurança hídrica (EMBRAPA, 2019). O uso consciente da água é necessário para garantir a sustentabilidade dos processos produtivos e ecossistemas adjacentes as unidades produtivas. Além disso, precisam abarcar diversas práticas para garantir tanto a preservação dos recursos hídricos, como, a segurança alimentar para as futuras gerações.

PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS À PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

O aumento da densidade populacional mundial nas últimas décadas impôs um incremento na produção de alimentos para atender a demanda dos habitantes o que, consequentemente resultou em maior exploração dos recursos naturais, para atender a produção de alimentos em quantidade e com qualidade nutricional, garantindo a segurança alimentar da população. Neste sentido, o crescimento populacional tem impacto na disponibilidade de alimentos e sobre os recursos naturais (Lazaretti & Souza, 2018).

No Brasil, o desmatamento é uma prática muito comum, e está entre uma das piores consequências da expansão agropecuária (Gorni Neto, 2020). A ação antrópica de supressão das matas e alteração do espaço natural em decorrência da criação de lavouras, campos e lagos artificiais para a produção alimentos, gera impactos nos ecossistemas como um todo, incluindo perda da diversidade biológica, degradação do solo, poluição das águas e desequilíbrio climático. Além disso, o manejo inadequado dos sistemas de produção e o uso excessivo de fertilizantes sintéticos podem agravar este quadro (Bonini, 2013; Moura et al., 2022).

A poluição gerada pela cadeia produtiva de alimentos não se limita à etapa da produção. O transporte e logística dos produtos alimentícios também devem ser levadas em consideração. No Brasil, as rodovias são os principais canais de escoamento da produção, e, muitas vezes, os produtos alimentícios percorrem grandes distâncias entre o local de produção e o de consumo. Como consequência, emitem-se grandes quantidades de dióxido de carbono para atmosfera, contribuindo

diretamente para o aquecimento global. Além disso, parte desta carga, em especial os grãos, são perdidos durante o transporte, acarretando mais poluição e perdas econômicas durante o processo (Ribeiro et al., 2017). Por fim, este cenário além de gerar danos ambientais substanciais, resulta no aumento dos custos dos alimentos para o consumidor.

A aquicultura, assim como qualquer outra atividade antrópica, apresenta um potencial poluidor. Entre seus principais impactos, podemos citar: eutrofização, sedimentação, obstrução dos fluxos de água e descarga dos efluentes de viveiros. Este último constitui um problema grave no cultivo de animais aquáticos, pois tem potencial poluidor tanto para as águas superficiais quanto subterrâneas.

A água é considerada um dos recursos naturais mais importantes para a sobrevivência e manutenção da vida em nosso planeta (Fonseca et al., 2021). A combinação de impactos ambientais, escassez de recursos naturais e o endurecimento das legislações ambientais tem impulsionado pesquisas voltadas ao desenvolvimento de tecnologias de cultivo que proporcionem maior produtividade com menor consumo de recursos e menor impacto ambiental (Nadia et al., 2023).



Figura 1. Ilustração das possíveis fontes de contaminação e desperdício de nutrientes da cadeia de produção de alimentos.

AQUAPONIA

Dentre as tecnologias de produção de alimentos com aspectos mais sustentáveis, a aquaponia surge como uma alternativa promissora (Yang et al., 2020). Neste

sistema de cultivo é possível maximizar a produção, uma vez que produz duas espécies, uma animal e outra vegetal em um único espaço (Tyson et al., 2011). Deste modo é possível aumentar os ganhos econômicos dos produtores com a inclusão da cultura vegetal, visto que esta se desenvolve apenas com nutrientes que não são aproveitados pelos peixes.

A alimentação dos animais é o maior custo produtivo na aquicultura tradicional, podendo corresponder de 60 a 80% do custo total (CONAB, 2017). Porém, uma parcela destes nutrientes acaba sendo desperdiçada, seja por falhas no manejo alimentar ou pela baixa assimilação animal, resultando em efluentes ricos em nutrientes.

A água residual da aquicultura contém nitrogênio (na forma de amônia e nitrato) e fósforo (na forma de fosfato) que são nutrientes essenciais aos vegetais. Com a aquaponia é possível utilizar estes nutrientes presentes na água para a produção vegetal, mitigando assim os impactos gerados pelos efluentes no ambiente. Além disso, melhora a qualidade de água da água de cultivo, reduz ou zera o uso de fertilizantes e contribui para a preservação do solo (Estim et al., 2019).

A implantação de sistemas aquapônicos exige que a água seja compartilhada entre peixes e plantas. Como ilustrado na Figura 2, a água passa primeiro por filtros mecânicos (que removem partículas sólidas) e depois por um filtro biológico, onde ocorre a nitrificação (Nadia et al., 2023).

As espécies envolvidas devem apresentar sinergia, e o sistema deve ser planejado baseado nas necessidades de nutrientes de ambas as espécies (Pérez-Urestarazua et al., 2019). Já é possível a produção tilápia, koi, goldfish, carpa, catfish, barra-mundi e espécies ornamentais, integrado com diversos vegetais, dos quais destacam-se a alface, repolho chinês, couve, manjerição, hortelã, agrião, tomate, pimentão, pepino, feijão, ervilha, abóbora, brócolis, couve-flor e repolho (Yavuzcan et al., 2017).

No aspecto estrutural, há diversas maneiras de implementação, seja por meio de Floating (bandejas flutuantes), cama de substrato ou até mesmo com calhas NFT (do inglês, *Nutrient Film Technique*). Uma característica em comum destes sistemas é a necessidade do fluxo de água tenha contato com a área radicular dos vegetais cultivados. Esta técnica já avaliada em diferentes estruturas, testando diferentes espécies vegetais e animais.



Figura 2. Diferentes sistemas de cultivos aquapônicos. A e C: sistema de cultivo com bandejas flutuantes; B: sistema de cultivo em calhas; C: sistema de cultivo com argila.

Fonte: Sites

<https://www.nacaoagro.com.br/dicas/veja-como-montar-um-sistema-de-aquaponia/>

<https://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/producao-limpa-aprenda-como-fazer-um-sistema-de-aquaponia/>

<https://ciclovivo.com.br/planeta/desenvolvimento/aquaponia-economiza-90-de-agua-e-descarta-quimicos-no-cultivo-de-hortalicas/>

<https://www.iguiecologia.com/aquaponia/>

Autores	Estrutura	Animal	Planta
Carvalho et al., 2024; Al-Zahrani et al., 2023; Harika et al., 2024; Farooq et al., 2023; Fernández-Cabanás et al., 2022; Santiago et al., 2023; Flores-Aguiar et al., 2023; Mohapatra et al., 2020; Lennard & Ward, 2019.	NFT	Astyanax sp.; Tinca tinca; Oreochromis niloticus; Cuphea hyssopifolia Kuntz; Cuphea cyanea; Tagetes erecta; Ctenopharyngodon idella; Pangasianodon hypophthalmus	Lactuca sativa; Spinacia oleracea; Cyprinus carpio L.; Pangasius hypophthalmus; Anethum graveolens L.; Eruca sativa; Coriandrum sativum L.; Petroselinum crispum; Ocimum basilicum; Spinacia oleracea; Fragaria x ananassa Duch;

Carvalho et al., 2017; Santiago et al., 2023; Knaus et al., 2021.	*NFT	<i>Oreochromis niloticus</i> <i>Clarias gariepinus</i>	<i>Lactuca sativa</i> <i>Mentha spicata</i>
Jordan et al., 2018; Geisenhoff et al., 2016; Yesiltas et al., 2021.	NFT e substrato	<i>Oreochromis niloticus</i> <i>Clarias gariepinus</i>	<i>Lactuca sativa</i>
Jordan et al., 2020; Soliman et al., 2023; Johnson et al., 2016; Kasozzi et al., 2021; Roosta & Mohsenian, 2012; Velichkova et al., 2020; Park et al., 2024; ¹ Oliveira et al., 2025a; Oliveira et al., 2025b; Knaus et al., 2021.	Floating	<i>Cyprinus carpio</i> ; <i>Oncorhynchus mykiss</i> ; <i>Oreochromis mossambicus</i> ; <i>Misgurnus anhuillicaudatus</i> ; <i>Oreochromis niloticus</i> ; ¹ <i>Colossoma macropomum</i> ; <i>Clarias gariepinus</i>	<i>Capsicum annuum</i> <i>Lactuca sativa</i> , <i>Solanum lycopersicum</i> ; ¹ <i>Allium fistulosum</i> L.; ¹ <i>Ocimum basilicum</i> L; <i>Mentha spicata</i>
Procópio et al., 2017; Knaus & Palm, 2017b; Babatunde et al., 2019.	Cama de substrato	<i>Colossoma macropomum</i> x <i>Piaractus brachipomus</i> <i>Oreochromis niloticus</i> ; <u><i>Cyprinus carpio</i></u>	<i>Nasturtium officinale</i> ; <i>Cucumis sativus</i> ; <i>Solanum lycopersicum</i> ; <i>Lactuca sativa</i> ; <i>Amaranthus hybridus</i>
Nadia et al., 2023; Oladimeji et al., 2020.	Cama de Cultivo	<i>Oreochromis niloticus</i> <i>Clarias gariepinus</i>	<i>Solanum lycopersicum</i> <i>Telfairia occidentalis</i>
Knaus & Palm, 2017a; Xu et al., 2022; Knaus et al., 2021.	Fluxo e refluxo	<i>Clarias gariepinus</i>	<i>Ocimum basilicum</i> <i>Tricutum aestivum</i> L. <i>Mentha spicata</i>

NFT: *Nutrient Film Technique*

*NFT: adaptado a cano de PVC.

¹Floating: bandejas preenchidas com fibra de coco

Tabela 1. Estruturas de cultivo vegetal e animal em sistemas aquapônico

FLOCponics

O sistema de cultivo FLOCponic, tem princípios de sistemas integrados, se assemelhando à aquaponia por produzir simultaneamente produtos de origem animal e vegetal, e utilizar estruturas semelhantes. O diferencial desta tecnologia está na utilização da água de cultivo proveniente do sistema de produção BFT (do inglês, *biofloc technology*).

O BFT é um sistema fechado com aeração constante, caracterizado por mínima ou nenhuma renovação de água. Para manter o sistema é necessária uma fonte de carbono, que pode ser sacarose, glicose e melaço, a qual tem a função de melhorar a atividade dos microrganismos presentes na água, e consequentemente trará benefícios para os parâmetros de qualidade da água (Yu et al., 2023). Este sistema é considerado sustentável, pois além de permitir a utilização de altas densidades, reduz a liberação de efluentes, diminuindo assim o impacto ambiental (Avnimelech, 2009). Para além da qualidade de água, em um sistema de BFT, os microrganismos específicos têm como resultado da sua atividade a produção de proteína microbiana, que serve como aporte para nutrição e podem mitigar os patógenos devido a competição do meio (Avnimelech, 2009; Emerenciano et al., 2013). Para algumas espécies, como tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*), é possível obter desempenho zootécnico igual e/ou superior quando cultivadas em BFT em relação a sistemas convencionais (com renovação constante), consumindo até 186 vezes menos água (Jatobá et al., 2019).

Embora o BFT seja um sistema com alta produtividade, espera-se maior eficiência na produção por meio do FLOCponics, pois neste, os nutrientes depositados são utilizados não só pelos animais, mas também são aproveitados por outra(s) espécie(s) (Pinho et al., 2023).

O FLOCponic vem ganhando espaço dentre as tecnologias de cultivo, por trazer consigo as vantagens já consolidadas no sistema BFT, e por requerer uma quantidade reduzida de alimento para o animal (Pinho et al., 2022). Aliando a isto, adiciona-se a produção de uma cultura adicional, o vegetal inserido no sistema. Neste sentido, alguns estudos relatam a melhora no desempenho zootécnico de tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*) e enguia (*Anguilla japonica*) quando cultivadas em FLOCponic em comparação com BFT (Park et al., 2024; Pinho et al., 2022).

Diversas espécies já foram utilizadas nestes sistemas, na tabela 2 é apresentado um compilado de estudos com diferentes espécies animal e vegetal, bem como o modelo de estrutura utilizado foi elencado.

Autores	Estrutura	Animal	Planta
Hwang et al., 2023; Martins et al., 2024; Deswati et al., 2021.	NFT	<i>Anguilla japonica</i> ; <i>Oreochromis niloticus</i>	<i>Lactuca sativa</i> ; <i>Eruca vesicaria</i> ; <i>Brassica juncea</i>

Lenz et al., 2017; Pinho et al., 2017a; Pinho et al., 2017b; Pinho, et al. 2022; Rocha et al., 2025.	Floating	<i>Oreochromis niloticus</i> ; <i>Piaractus</i> <i>mesopotamicus</i>	<i>Lactuca sativa</i> ; <i>Allium fistulosum</i> ; <i>Petroselinum</i> <i>crispum</i> ;
Nadia et al., 2023; Hwang et al., 2021; Sassendran et al., 2021.	Cama de Cultivo	<i>Oreochromis niloticus</i> ; <i>Anguilla japonica</i>	<i>Solanum</i> <i>lycopersicum</i> ; <i>Beta vulgaris</i> ; <i>Brassica campestris</i> ; <i>Capsicum annuum</i>
Pinho et al., 2023; Park et al., 2024.	Sistema desacoplado	<i>Oreochromis niloticus</i> ; <i>Misgurnus</i> <i>anguillicaudatus</i>	<i>Lactuca sativa</i>
Barbosa, 2017; Rocha, 2017.	Bandejas flutuante	<i>Oreochromis niloticus</i> ; <i>Rhamdia quelen</i>	¹² <i>Lactuca sativa</i>

NFT: *Nutrient Film Technique*

Tabela 2. Estruturas de cultivo vegetal e animal em sistemas FLOCponic

IMTA

Como já discutido anteriormente, uma parcela dos nutrientes fornecidos aos animais não é absorvida por completo, levando ao acúmulo de nutrientes na coluna de água e/ou no sedimento dos tanques de cultivo de animais aquáticos, podendo causar alterações biológicas e geoquímicas desfavoráveis. Estes nutrientes podem ser reaproveitados em outras cadeias de produção aquícolas, inserindo princípios de economia circular na aquicultura.

Neste contexto, o sistema IMTA (do inglês, *Integrated Multitrophic Aquaculture*) baseia-se na dinâmica do ambiente natural, combinando espécies de diferentes níveis tróficos e hábitos alimentares que se complementam visando assim otimizar o aproveitamento dos nutrientes. Neste sistema os rejeitos do cultivo de uma espécie são reciclados para converter-se em aportes (fertilizantes ou alimentos) para outras espécies (Chopin et al., 2006).

Visando o melhor aproveitamento dos nutrientes ofertados e reciclados no sistema, a alimentação artificial é planejada para os vegetais (macroalgas, microalgas e plantas), ou combinada com outras espécies extrativas inorgânicas (algas marinhas), e espécies extrativas orgânicas (que se alimentam de suspensões/deposições) para criar sistemas sustentáveis nos aspectos ambientais (biomitigação), assim como, a estabilidade econômica pela diversificação de produtos e redução de riscos (Troell et al., 2009).

O exemplo mais tradicional da IMTA é formado pelo cultivo de salmão em gaiolas flutuante, os quais são alimentados, o excedente corresponde a parte orgânica são levados pelas correntes marinha e consumidos pelos mexilhões e pôr fim a parte inorgânica é consumida pelas macroalgas (representado esquematicamente na figura). Entretanto, os conceitos de IMTA podem ser aplicados em associação a outras tecnologias, como os FLOCponic. Desta forma é necessário um sistema fechado que a água flua, carregando os nutrientes por meio das estruturas onde estão as diferentes espécies de distintos níveis tróficos. Neste sistema a produção integra uma vasta variabilidade de espécies, sendo elas de diferentes níveis tróficos em um mesmo ambiente de cultivo.

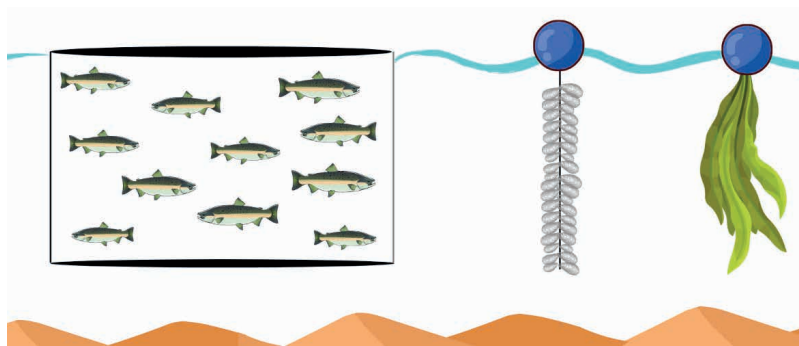


Figura 3. Representação de um sistema aberto de IMTA, onde o excedente da alimentação dos peixes serve como aporte nutricional para o cultivo de ostras e algas.

Indiferente da aplicabilidade, a IMTA é uma tecnologia de produção de alimentos desenvolvida para aprimorar a sustentabilidade na aquicultura intensiva, combinando espécies de aquicultura alimentadas, criando equilíbrio para oportunizar a sustentabilidade ambiental e a diversificação de produtos (Khanjani et al., 2022).

DO CAMPO PARA A CIDADE: AQUICULTURA URBANA

Um estudo realizado pela Nações Unidas (2018), aponta que mais de 50% da população mundial ocupa as áreas urbanas e a perspectiva que esse número atinja quase 75% até 2050. O deslocamento de pessoas do campo para as cidades é contínuo, seja por fatores geopolíticos ou econômicos. Brasileiros também saem do país em busca de novas oportunidades (Mofarrej et al., 2023). Da mesma forma, há mais de uma década o Brasil recebe imigrantes do Haiti, além de ser o quinto país que mais recebe imigrantes da Venezuela (Demétrio et al., 2023; Sanjurjo, 2023).

Dada a tendência de incremento da urbanização e da necessidade de garantir a segurança alimentar, surge a busca por alternativas que viabilizem a produção

de alimentos de qualidade, em quantidades que não causam impactos alimentares negativos na população de regiões urbanizadas (Opitz et al., 2015).

Em áreas urbanas, o acesso e a disponibilidade de alimentos nutricionalmente adequados, especialmente frutas e vegetais frescos, são limitados (Opitz et al., 2015). Dentro deste contexto, a agricultura urbana gradativamente ganha espaço de destaque no cenário de produção de alimentos, a qual é caracterizada por produzir alimentos dentro de espaços urbanos, gerando um novo cenário agrícola, o qual é voltado à produção de alimentos orgânicos, frescos, livres de agrotóxicos e com curta cadeia de distribuição (Santos, 2016), apesar de não se limitar a isto.

A inserção da agricultura em espaços urbanizados permite aproximar produtores e consumidores, viabilizando a estruturação de cadeias curtas para o abastecimento alimentar (Opitz et al., 2015). Esta proximidade traz outros benefícios, como redução de custo com logística e desperdício (Quartarolli, 2020), assim como a redução de emissão de gás carbônico gerado pelo transporte, que no Brasil ocorre prioritariamente por caminhões.

Tendo em vista a crescente ocupação dos espaços urbanos, as longas cadeias de distribuição dos alimentos perecíveis e a ocorrência de desperdícios ao longo desta, produzir alimentos de variadas espécies em espaços urbanos se torna uma alternativa promissora, possibilitando que as cadeias curtas de produção e adoção de práticas limpas se fortaleçam cada vez mais (Moura, 2022). Este movimento também se enquadra no movimento "*slow food*", um movimento global que promove as tradições alimentares locais, a agricultura sustentável e uma abordagem mais consciente ao ato de comer. O movimento surgiu como uma resposta ao crescimento do "*fast food*" e à industrialização da produção de alimentos. O *Slow Food* enfatiza a importância de saber de onde vêm os alimentos, apoiar os agricultores locais e preservar as cozinhas regionais e a biodiversidade.

O movimento incentiva o consumo de alimentos que sejam bons (frescos, saborosos e saudáveis), limpos (produzidos de maneira ambientalmente sustentável) e justos (assegurando que os produtores recebam uma compensação justa). O objetivo é criar um sistema alimentar mais justo, ao mesmo tempo em que enriquece a diversidade cultural e culinária. Nesse aspecto, a aquicultura oferece diversas alternativas para produção de alimentos, promovendo a otimização do espaço e nutrientes, possibilitando a produção de alimentos de origem vegetal e animal.

ECONOMIA CIRCULAR E A AQUICULTURA

Dado a mudança nos hábitos de consumo, o processo de industrialização e crescimento populacional, estamos vivendo em uma relação desequilibrada, onde o consumo de recursos supera a sua produção, o que é insustentável a longo prazo.

Por muito tempo, a economia foi fundamentada em um sistema econômico baseado na linearidade, onde se tinha o entendimento que os recursos eram abundantes, disponíveis e que poderiam ser descartados sempre que necessário, ignorando o planejamento do descarte e até mesmo a possibilidade de reutilizar os produtos e descartes de processos produtivos (Assunção, 2019).

Fatores econômicos e ambientais estão trazendo um novo cenário para a forma de planejar, produzir e a utilização de bens e produtos. Em 1976, no relatório elaborado pela comissão da União Europeia, surge o conceito de economia circular, um modelo de economia que associa de forma concomitante o desenvolvimento econômico e a utilização sustentável de recursos, tendo como foco a redução de desperdício (Kinguari, 2024; Weetman, 2016).

A aplicabilidade do conceito de economia circular, no que tange à aquicultura, possibilita a otimização de nutrientes e recursos hídricos, fazendo uso de tecnologias de produção como a aquaponia, e as seguintes tecnologias que se enquadram dentro deste conceito: bioflocos, FLOCponic e IMTA (Pérez-Urrestarazu et al., 2019).

Na aquicultura, o maior custo de produção é com a alimentação dos animais, representando entre 60 e 80% do custo produtivo. Contudo, uma parcela dos nutrientes presentes na ração acaba sendo desperdiçada, o que pode promover a eutrofização de mananciais, resultando em perdas da biodiversidade e redução da qualidade da água (CONAB, 2017; Santos & Medeiros, 2023). Com a aplicação dos conceitos de IMTA na produção aquícola, é possível otimizar/reciclar nutrientes, que anteriormente atuavam como um potencial poluidor dentro do próprio sistema de produção (Pinho et al., 2022; Martins et al., 2025).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A crescente pressão sobre os recursos naturais exige uma transformação nos sistemas produtivos de alimentos, com foco na sustentabilidade, na eficiência e na circularidade. Neste contexto, as tecnologias aquícolas integradas, como a aquaponia, o FLOCponics e a Aquicultura Multitrófica Integrada (IMTA), despontam como alternativas viáveis para mitigar os impactos ambientais da produção convencional e, ao mesmo tempo, diversificar produtos, otimizar o uso da água e dos nutrientes, e fomentar cadeias curtas de abastecimento, especialmente em zonas urbanas e periurbanas.

A adoção desses sistemas permite não apenas a produção simultânea de organismos aquáticos e vegetais, mas também favorece a redução de efluentes, a biomitigação de poluentes, a racionalização do uso de insumos e a inclusão de práticas compatíveis com os princípios da economia circular. Além disso, esses modelos oferecem oportunidades para a valorização socioeconômica de produtores locais, promovendo segurança alimentar e nutricional em escalas descentralizadas.

Entretanto, a consolidação dessas tecnologias ainda enfrenta desafios, como o elevado custo energético de algumas estruturas (ex. sistemas BFT), a necessidade de qualificação técnica para o manejo integrado, e a carência de políticas públicas que incentivem e valorizem os produtos oriundos desses sistemas. Nesse sentido, mecanismos de incentivo — como selos verdes, certificações de sustentabilidade, linhas de crédito e políticas fiscais específicas — podem ser estratégias decisivas para sua viabilidade econômica e expansão.

Portanto, fortalecer a pesquisa, a inovação tecnológica e a articulação entre produção, meio ambiente e consumo é essencial para construir uma aquicultura que seja, de fato, sustentável, resiliente e alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A integração entre ciência, gestão e compromisso social torna-se, assim, o alicerce para uma nova lógica de produção de alimentos, em harmonia com os limites ecológicos do planeta.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESC (2023/TR001478 e 2025/TR001112) pelo apoio financeiro e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida a Adolfo Jatobá (308661/2023-0).

REFERÊNCIAS

ABDEL-RAOUF, N.; AL-HOMAIKAN, A. A.; IBRAHEEM, I. B. M. Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, v. 19, n. 3, p. 257–275, jul. 2012. Doi

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: relatório pleno 2021. Brasília: ANA, 2022. Disponível em: <http://snirh.gov.br/ usos-da-agua/> Acesso em: 04 abril 2024

AGUIRRE, J. M. T.; PEREIRA, M. T. Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias. Paranaguá, PR, v.8, n. 1, p. 1-15, 2023. I Congresso Internacional de Sustentabilidade, Educação e Tecnologia: Ciência, Sociedade, Meio Ambiente e Educação Profissional – I Ciset. 1-8SUSTENTABILIDADE E AGRICULTURA ORGÂNICA: UMA REVISÃO NARRATIVA. Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias, v. 8, p. 1–15, 2023b.

AL-ZHRANI, M. S. et al. Effect of Stocking Density on Sustainable Growth Performance and Water Quality of Nile Tilapia-Spinach in NFT Aquaponic System. *Sustainability*, v. 15, n. 8, p. 6935–6935, 20 abr. 2023.

ASSUNÇÃO, G. M. A gestão ambiental rumo à economia circular: como o Brasil se apresenta nessa discussão. *Sistemas & Gestão*, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 223–231, 2019. DOI: 10.20985/1980-5160.2019.v14n2.1543. Disponível em: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/1543>. Acesso em: 10 out. 2024.

AVNIMELECH, Y. *Biofloc Technology-A Practical Guide Book*, The World Aquaculture Society. Louisiana, United States, v. 120, 2009.

BARBOSA, M. UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA -UDESC CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR DO OESTE -CEO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA TECNOLOGIA DE BIOFLOCOS: ELEMENTOS FILTRANTES AFETAM A PRODUÇÃO AQUAPÔNICA DE ALFACES INTEGRADO COM TILÁPIAS? [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://sistemabu.udesc.br/pergamumweb/vinculos/00003f/00003fff.pdf>>. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração Ciência e Produção Animal

BARBOSA, P. T. L.; et al. Nile tilapia production in polyculture with freshwater shrimp using an aquaponic system and biofloc technology. *Aquaculture*, v. 551, p. 737916, mar. 2022.

BONINI, I. et al. A Influencia da supressão vegetal na dinâmica de processos erosivos: um estudo comparativo em campo verde, Mato Grosso. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 2128, 2013.

CARVALHO, A. R.; et al. "Avaliação da produtividade da aquaponia comparada com a hidroponia convencional." *Vivências: Revista Eletrônica de Extensão da URI* 13.24 (2017): 79-91.

CARVALHO, S. W. S. de; PERIARD, L. dos R.; SOUZA, T. B. de. Avaliação de um sistema de aquaponia para agricultura familiar confeccionado com materiais sustentáveis. *OBSERVATÓRIO DE LA EaCONOMÍA LATINOAMERICANA*, [S. l.], v. 22, n. 12, p. e8166, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n12-098. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/8166>. Acesso em: 25 fev. 2025.

CHOPIN, T.; et al. Integrated multi-trophic aquaculture: Seaweeds and beyond... the need of an interdisciplinary approach to develop sustainable aquaculture. *Journal of Phycology*, v. 42, n. 11, 2006.

CONAB, 2017. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2016/17 - Oitavo levantamento, Brasília, v. 4 p.104-112 < > acesso: 02 março 2023

DESWATI, D.; et al. SAMHONG MUSTARD CULTIVATION BY UTILIZING TILAPIA WASTE IN NUTRIENT FILM TECHNIQUE (NFT) AQUAPONICS SYSTEM BASED ON BIOFLOCS, AND ITS IMPACT ON WATER QUALITY. *Rasayan Journal of Chemistry*, v. 14, n. 04, p. 2559–2566, 2021.

DEMÉTRIO, N. B.; BAENINGER, R.; JÓICE DOMENICONI. Imigração haitiana no Brasil: questão humanitária e reunião familiar. v. 31, n. 67, p. 177–195, 1 abr. 2023.

EMERENCIANO, M.; GAXIOLA, G.; CUZON, G. Biofloc technology (BFT): a review for aquaculture application and animal food industry. Biomass now- cultivation and utilization, p. 301-328, 2013.

ENNARD, W.; WARD, J.. A comparison of plant growth rates between an NFT hydroponic system and an NFT aquaponic system. Horticulturae, v. 5, n. 2, p. 27, 2019.

ESTIM, A; S.; Mustafa, S. Water quality remediation using aquaponics sub-systems as biological and mechanical filters in aquaculture. Journal of Water Process Engineering. v.30 August 2019

FAROOQ, A.; et al. Iron supplementation in aquaculture wastewater and its effect on the growth of spinach and pangasius in nutrient film technique based aquaponics. Agricultural Water Management, v. 277, p. 108126, 1 mar. 2023.

FERNÁNDEZ-CABANÁS, V. M.; et al. Early production of strawberry in aquaponic systems using commercial hydroponic bands. Aquacultural Engineering, v. 97, p. 102242, maio 2022.

FLORES-AGUILAR, P. S.; Rico-Chávez, A.K.; Rodriguez-deLeón, E.; Aguirre-Becerra, H.; Zamora-Castro, S.A.; Soto-Zarazúa, G.M. Bioactive Compounds of Endemic Medicinal Plants (*Cuphea* spp.) Cultured in Aquaponic Systems: A Short Study. Agriculture 2023, 13, 2018. <https://doi.org/10.3390/agriculture13102018>

GEISENHOF, L. O. et al. Effect of different substrates in aquaponic lettuce production associated with intensive tilapia farming with water recirculation systems. Engenharia Agrícola, v. 36, n. 2, p. 291–299, abr. 2016.

GORNI NETO, Fernando. Energia na Agricultura. 2. ed. São Paulo: Universidade Paulista – UNIP, 2020. 216p.

HARIKA et al. Supplementation of potassium in aquaculture wastewater and its effect on growth performance of basil (*Ocimum basilicumin* L) and pangasius (*Pangasianodon hypophthalmus*) in NFT-based aquaponics. Scientia Horticulturae, v. 323, p. 112521–112521, 1 jan. 2024.

HWANG, J.-A et al. (2021). Effect on Eel *Anguilla japonica* and Crop Growth by the Development of a Biofloc Technology (BFT) Aquaponic System. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 54(4), 418–425.

HWANG, J.-A. et al. Productivity of Fish and Crop Growth and Characteristics of Bacterial Communities in the FLOCponics System. *Fishes*, v. 8, n. 8, p. 422, 1 ago. 2023.

JATOBÁ, A.; BORGES, Y. V.; SILVA, F. A. BIOFLOC: sustainable alternative for water use in fish culture. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 71, p. 1076-1080, 2019.

JOHNSON, G. E. et al. Comparison of Two Harvest Methods for Lettuce Production in an Aquaponic System. *Journal of Agricultural Science*, v. 9, n. 1, p. 64, 7 dez. 2016.

JORDAN, R. A. et al. Yield of lettuce grown in hydroponic and aquaponic systems using different substrates. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 22, n. 8, p. 525-529, ago. 2018.

JORDAN, R. A. et al. Produtividade de híbridos de tomate cultivados em aquaponia associada em sistema tipo floating. *Research, Society and Development*, 15 set. 2020.

KASOZI, N.; KAISER, H.; WILHELMI, B. Effect of *Bacillus* spp. on Lettuce Growth and Root Associated Bacterial Community in a Small-Scale Aquaponics System. *Agronomy*, v. 11, n. 5, p. 947, 11 maio 2021.

KHANJANI, M. H.; ZAHEDI, S.; MOHAMMADI, A. Integrated multitrophic aquaculture (IMTA) as an environmentally friendly system for sustainable aquaculture: functionality, species, and application of biofloc technology (BFT). *Environmental*

KNAUS, U.; PALM, H. W. Effects of fish biology on ebb and flow aquaponical cultured herbs in northern Germany (Mecklenburg Western Pomerania). *Aquaculture*, v. 466, p. 51-63, jan. 2017a.

KNAUS, U.; PALM, H. W. Effects of the fish species choice on vegetables in aquaponics under spring-summer conditions in northern Germany (Mecklenburg Western Pomerania). *Aquaculture*, v. 473, p. 62-73, 20 abr. 2017b.

KNAUS, U. et al. Spearmint (*Mentha spicata*) Cultivation in Decoupled Aquaponics with Three Hydro-Components (Grow Pipes, Raft, Gravel) and African Catfish (*Clarias gariepinus*) Production in Northern Germany. *Sustainability*, v. 14, n. 1, p. 305, 28 dez. 2021.

LENNARD, W.; WARD, J. A Comparison of Plant Growth Rates between an NFT Hydroponic System and an NFT Aquaponic System. *Horticulturae*, v. 5, n. 2, p. 27, 9 abr. 2019.

LAZARETTI L. R.; de SOUZA O.T. Population and Environmental: a coupling analysis for a Brazilian case (1991-2014). *Simpósio da Ciência e Agronegócio*, 6., 2018, Porto Alegre.

LENZ, G. L. et al. Produção de alface (*Lactuca sativa*) em efluentes de um cultivo de tilápias mantidas em sistema BFT em baixa salinidade. *Boletim do Instituto de Pesca*, v. 43, n. 4, p. 614–630, 19 dez. 2017.

MARTINS, V. B. et al. Cultivation of vegetables in an integrated biofloc system with Nile tilapia. *Aquaculture*, v. 596, p. 741818, 2025.

MOFARREJ, G. J. C.; COSTA, M. F. T. da; LEIFERT, M. G. M.; CARMONA, M. L. M.; JOVELEVITHS, O.; PASCHOAL, V. N. “Perrengues e Milagres: Construindo nossa história longe do país de origem”: investigação Apreciativa online com brasileiros residentes no exterior. *Nova Perspectiva Sistêmica*, [S. l.], v. 32, n. 76, p. 94–112, 2023. DOI: 10.38034/nps.v32i76.743.

MOHAPATRA, B. C. et al. Design and development of a portable and streamlined nutrient film technique (NFT) aquaponic system. *Aquacultural Engineering*, v. 90, p. 102100, 1 ago. 2020.

MOURA, D. A. et al., 2022 Agricultura Orgânica: impactos ambientais, sociais, econômicos e na saúde humana COLÓQUIO – Revista do Desenvolvimento Regional – Faccat v. 19, n. 1

NADIA, Z. M. et al. Yielding of aquaponics using probiotics to grow tomatoes with tilapia. *Aquaculture Reports*, v. 33, p. 101799, 1 dez. 2023.

NAVARRO, Zander. Democracia, cidadania e representação: os movimentos sociais rurais no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, 1978-1990. Política, protesto e cidadania no campo. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, p. 62-105, 1996.

OLADIMEJI, S. A. et al. Aquaponics production of catfish and pumpkin: Comparison with conventional production systems. *Food Science & Nutrition*, v. 8, n. 5, p. 2307–2315, 8 abr. 2020.

OLIVEIRA, T. J. M. de; PINHEIRO, K. A. O.; AYRES, Álvaro R.; SANTOS, M. G. dos; SANTOS, G. C. dos; JUNIOR, R. A. P.; CARNEIRO, F. da S.; FRAZÃO, A. da S. Produção de cebolinha (*Allium fistulosum* L.) em diferentes densidades em sistema de aquaponia com tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818). *REVISTA DELOS*, [S. l.], v. 18, n. 63, p. e3682, 2025a. DOI: 10.55905/rdelosv18.n63-140. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/3682>. Acesso em: 25 fev. 2025.

OLIVEIRA, T. J. M. de; PINHEIRO, K. A. O.; AYRES, Álvaro R.; SANTOS, M. G. dos; SANTOS, G. C. dos; JUNIOR, R. A. P.; CARNEIRO, F. da S.; FRAZÃO, A. da S. Crescimento e bioquímica de manjerição (*Ocimum basilicum* L.) em diferentes densidades em sistema aquapônico com tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818). *REVISTA DELOS*, [S. l.], v. 18, n. 63, p. e3683, 2025b. DOI: 10.55905/rdelosv18.n63-141. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/3683>. Acesso em: 25 fev. 2025.

PARK, J.; HWANG, J.-A.; CHOE, J.; LEE, D.; KIM, H. Enhancing Indoor Culture of Weather Loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) and Caipira Lettuce (*Lactuca sativa*) in a Decoupled FLOCponics System. *Fishes* 2024, 9, 150.

PEREIRA, L.; ALEXANDRE QUEIROZ GUIMARÃES. ECONOMIA CIRCULAR COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL: UMA REVISÃO NARRATIVA DO CONCEITO, DA SUA TRAJETÓRIA E DAS SUAS CRÍTICAS E BARREIRAS. *RDE - Revista de Desenvolvimento Econômico*, n. 54, p. 111–135, 1 jan. 2023. Acesso em: 10 out. 2024.

PÉREZ-URRESTARAZU, L. et al. Suitability and optimization of FAO's small-scale aquaponics systems for joint production of lettuce (*Lactuca sativa*) and fish (*Carassius auratus*). *Aquacultural Engineering*, v. 85, p. 129–137, maio 2019.

PINHO, S. M. et al. Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecological Engineering*, v. 103, p. 146–153, jun. 2017.

PINHO, S. M. et al. Integrated production of fish (pacu *Piaractus mesopotamicus* and red tilapia *Oreochromis* sp.) with two varieties of garnish (scallion and parsley) in aquaponics system. *Aquaculture International*, v. 26, n. 1, p. 99–112, 3 out. 2017.

PINHO, S. M. et al. Economic comparison between conventional aquaponics and FLOCponics systems. *Aquaculture*, v. 552, p. 737987, abr. 2022.

PINHO, S.M.; David, L.H.; Garcia, F.; Portella, M.C.; Keesman, K.J. Sustainability assessment of FLOCponics compared to stand-alone hydroponics and biofloc systems using enerfy synthesis. *Ecol. Indic.* 2022, 141, 109092. [CrossRef] 30. Choi, J.Y.; Park, J.S.; Kim, H.S.; Hwang, J.A.; Lee, D.; Lee, J.H. Assessment of water quality parameters during a cou

PINHO, Sara M. et al. FLOCponics: The integration of biofloc technology with plant production. *Reviews in Aquaculture*, v. 14, n. 2, p. 647-675, 2022.

PINHO, S. M. et al. Modelling FLOCponics systems: Towards improved water and nitrogen use efficiency in biofloc-based fish culture. *Biosystems Engineering*, v. 229, p. 96–115, maio 2023.

Procópio, N. S. et al.. PRODUÇÃO DE TAMBANTINGA E AGRIÃO EM SISTEMA DE AQUAPONIA CAMA SUBSTRATO. *Anais da Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão do IFMT*, novembro 2017

QUARTAROLLI, L.A.C. O desafio do transporte de alimentos in natura: uma reflexão sobre sua importância em tempos de pandemia. *Diálogos Acadêmicos IESCAMP ReDAI*. vol. 4, nº.2, ago – dez, 2020.

RIBEIRO, Helena; JAIME, Patrícia Constante; VENTURA, Deisy. Alimentação e sustentabilidade. Estudos avançados, v. 31, p. 185-198, 2017.

ROCHA, Andréa Ferretto, et al. "Lettuce production in aquaponic and biofloc systems with silver catfish *Rhamdia quelen*." Bol Inst Pesca 43 (2017): 64.

ROCHA, A. F. DA et al. Lettuce production in a DWC aquaponic system with and without bioflocs compared to a hydroponic system in southern Brazil. All Life, v. 18, n. 1, 3 abr. 2025.

ROOSTA, H. R.; MOHSENIAN, Y. Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annuum* L.) plants in aquaponic system. Scientia Horticulturae, v. 146, p. 182–191, out. 2012.

SANJURJO, Liliana Estudo de Caso: governança e capacidade institucional do Brasil na resposta à migração venezuelana (2016-2022) / Liliana Sanjurjo. -- Brasília: Enap, 2023Hwang, J.A.; Lee, J.H.; Park, J.S.; Choe, J.R.; Lee, D.; Kim, H.S. Effect on Eel *Anguilla japonica* and crop growth by the development of a biofloc technology (BFT) Aquaponics System. Korean J. Fish. Aqua. Sci. 2021, 54, 418–425

SASEENDRAN, S. et al. Enhanced growth response and stress mitigation of genetically improved farmed Tilapia in a biofloc integrated aquaponic system with bell pepper. Aquaculture, v. 533, p. 736200, fev. 2021.

SANTIAGO C.S, et al. Alevinagem de tilápias nilóticas em sistemas de recirculação aquícola e aquaponia com e sem substrato. Pantanal Editora eBooks, p. 37–48, 31 maio 2023

SANTOS, M. P.L. Smart cities and urban areas—Aquaponics as innovative urban agriculture Urban Forestry & Urban Greening , v.20, p. 402 – 406, 2016. <>

SANTOS, Milton. A Urbanização Brasileira. São Paulo: EDUSP, 2005.

SANTOS; PETTER, R. A Ação Antrópica e o Processo de Eutrofização no Rio Paraíba do Meio. Sociedade & natureza, v. 35, n. 1, 9 jan. 2023. <https://doi.org/10.14393/SN-v35-2023-66441>

Science and Pollution Research, v. 29, n. 45, p. 67513–67531, 3 ago. 2022.

SOLIMAN, H. A. M. et al. Paired Production of the Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Lettuce (*Lactuca sativa*) within an Aquaponics System in Sohag Governorate. Sohag Journal of Sciences, v. 8, n. 1, p. 35–40, 1 jan. 2023

TROELL, M. et al. Ecological engineering in aquaculture — Potential for integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in marine offshore systems. *Aquaculture*, v. 297, n. 1-4, p. 1–9, dez. 2009.

TYSON, R.V.; Treadwell, D.D.; Simonne, E. H. Opportunities and Challenges to Sustainability in Aquaponic Systems.

UNITED NOTIONS, U.N. “68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN.” 2018 Revision of World Urbanisation Prospects (2018).

VELICHKOVA, SIRAKOV & E VALKOVA. (2020). The effect of sweet flag (*Acorus calamus* L.) supplemented diet on growth performance, biochemical blood parameters and meat quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) and growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivated in aquaponic recirculation system. *AACL Bioflux*. 13. 3840-3848.

WEETMAN, C. A circular economy handbook for business and supply chains: Repair, remake, redesign, rethink. Kogan Page Ltd. 2016.

XU, L. et al. Aquaponics Production of Wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) in Different Horticultural Substrates with African Catfish (*Clarias gariepinus*) in Northern Germany. *AgriEngineering*, v. 4, n. 4, p. 1076–1094, 1 dez. 2022.

YANG, T.; Kim, H.-J. Characterizing Nutrient Composition and Concentration in Tomato-, Basil-, and Lettuce-Based Aquaponic and Hydroponic Systems. *Water* 2020, 12, 1259.

YAVUZCAN YILDIZ, H. et al. Fish Welfare in Aquaponic Systems: Its Relation to Water Quality with an Emphasis on Feed and Faeces—A Review. *Water*, v. 9, n. 1, p. 13, 1 jan. 2017.

YEŞİLTAŞ, M. et al. Effect of Different Inorganic Substrates on Growth Performance of African Catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) and Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, v. 9, n. 4, p. 714–722, 24 abr. 2021.

YU, Y.-B.; Choi, J.-H.; Lee, J.-H.; Jo, A.-H.; Lee, K.M.; Kim, J.-H. Biofloc Technology in Fish Aquaculture: A Review. *Antioxidants* 2023, 12, 398. <https://doi.org/10.3390/antiox12020398>