



UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA – UNEB
DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO - *CAMPUS VIII*
COLEGIADO DE ENGENHARIA DE PESCA

LAÍSSA VENTURA FEITOSA

**CONTRIBUIÇÕES DA AQUAPONIA PARA A ENGENHARIA DE PESCA
SUSTENTÁVEL: UMA ABORDAGEM SOCIOAMBIENTAL**

PAULO AFONSO – BA

2025

LAÍSSA VENTURA FEITOSA

**CONTRIBUIÇÕES DA AQUAPONIA PARA A ENGENHARIA DE
PESCA SUSTENTÁVEL: UMA ABORDAGEM SOCIOAMBIENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), apresentado à banca examinadora como parte dos requisitos parciais para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Pesca pela Universidade do Estado da Bahia – UNEB - *Campus VIII*.

Orientadora: Profa. Dr^a. Fátima Lúcia de Brito dos Santos

PAULO AFONSO - BA

2025

LAÍSSA VENTURA FEITOSA

**CONTRIBUIÇÕES DA AQUAPONIA PARA A ENGENHARIA DE
PESCA SUSTENTÁVEL: UMA ABORDAGEM SOCIOAMBIENTAL**

DATA DE APRESENTAÇÃO: 01 DE AGOSTO DE 2025.

Prof. Dra. Adriana Maria Cunha da Silva
Coordenadora do Curso de Engenharia de Pesca

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Profa. Dra. Fatima Lúcia de Brito dos Santos
Universidade do Estado da Bahia – UNEB
Departamento de Educação - *Campus VIII*

Examinador: Prof. Me. Lucemário Xavier Batista
Universidade do Estado da Bahia – UNEB
Departamento de Educação - *Campus VIII*

Examinador: Prof. Dr. Rafael Queiroz dos Anjos
Universidade do Estado da Bahia – UNEB
Departamento de Educação - *Campus VIII*

Dedico este trabalho aos meus pais Quitéria Josinalva Ventura e José Nildo Feitosa que sempre acreditaram em mim, e a minha avó Lindinalva Pereira que permanece viva em cada lembrança.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, meu alicerce nos momentos de caos, minha paz e minha força quando tudo parecia desabar. Cada passo desta jornada foi guiado por sua luz, sua presença constante foi meu abrigo, minha esperança nas horas de dúvida e minha paz nos períodos de incerteza. Dedico este trabalho a cada lágrima que caiu em silêncio, a cada oração sussurrada com o coração apertado e a cada “vai dar certo” que me manteve de pé. Este TCC não é apenas uma exigência acadêmica, ele é a prova viva de que a fé, o amor e a persistência constroem pontes onde antes só existiam abismos. Cada página carrega noites em claro, orações silenciosas, renúncias e muita fé.

Agradeço com profundo carinho à minha família, minha base. Aos meus pais, Quitéria Josinalva Ventura e José Nildo Feitosa, que sempre estiveram ao meu lado com amor, conselhos, orações e apoio incondicional. Obrigada por acreditarem em mim mesmo quando eu não conseguia enxergar o caminho com clareza. Aos meus filhos, David Samuel e Danielly Samira, que foram minha maior fonte de inspiração e motivação. Vocês são o motivo do meu esforço e a razão do meu orgulho. Agradeço, ainda que ausentes fisicamente, aos meus tios Maria Auxiliadora e Francisco, pelo apoio e carinho sempre presentes. À minha querida avó Lindinalva, que mesmo não estando mais fisicamente entre nós, continua viva em cada lembrança e gesto de carinho. Ela foi sinônimo de amor, força e sabedoria. Suas palavras firmes e seu olhar acolhedor seguem me inspirando todos os dias. Vózinha, onde quer que esteja, espero que se orgulhe de mim, assim como sempre me orgulhei de ser sua neta. Carrego seu amor como herança eterna no coração.

À Universidade do Estado da Bahia pela possibilidade de me graduar em um curso superior.

Aos docentes do curso de Engenharia de Pesca que ajudaram em minha trajetória acadêmica e em especial minha orientadora, Profa. Dra. Fátima Brito, que com dedicação e paciência me ajudou também a moldar este trabalho. O conhecimento que compartilham vai além da sala de aula, é uma verdadeira inspiração de vida.

À minha turma 2017.2 que foi tão importante para mim em momentos tão difíceis, a todos que fizeram parte dessa conquista: saibam que levo um pedacinho de cada um de vocês neste trabalho. Obrigada por cada palavra, cada abraço, cada gesto de apoio e cada “vai ficar tudo bem” que me deu força para seguir. Este TCC é fruto de esforço, fé e amor.

Agradeço sinceramente à banca examinadora, composta pelo Prof. Me. Lucemário Xavier Batista, pelo Prof. Dr. Rafael Queiroz dos Anjos e pela minha orientadora Profa. Dra. Fátima Lúcia de Brito dos Santos, pela disponibilidade, dedicação e pelas valiosas contribuições apresentadas durante a avaliação deste trabalho. Cada comentário, sugestão e reflexão proporcionados foram fundamentais para o aprimoramento desta pesquisa, enriquecendo não apenas o desenvolvimento acadêmico aqui apresentado, mas também minha trajetória de aprendizado e crescimento profissional.

"O Senhor Deus colocou o homem no jardim do Éden para cultivá-lo e guardá-lo."

Gênesis 2:15

RESUMO

O crescimento populacional, a urbanização e a intensificação da agroindústria têm aumentado significativamente a pressão sobre os recursos hídricos e os ecossistemas aquáticos, exigindo práticas produtivas mais eficientes e ambientalmente sustentáveis. Nesse contexto, a Engenharia de Pesca exerce um papel estratégico na busca por sistemas que aliem viabilidade econômica, responsabilidade ambiental e inclusão social. A integração entre aquicultura e hidroponia culmina na aquaponia, um modelo que se baseia no reaproveitamento de resíduos gerados pelos animais cultivados, na redução de desperdícios de água e na produção simultânea de proteínas e vegetais com baixo impacto ambiental. Surge como alternativa promissora ao favorecer o reaproveitamento de água e nutrientes, reduzir o uso de insumos sintéticos e possibilitar a produção em áreas urbanas e semiáridas. Este estudo teve como objetivo analisar, por meio de revisão bibliográfica (2014–2024), a viabilidade do sistema aquapônico como prática sustentável aplicada à Engenharia de Pesca, destacando seus fundamentos técnicos, benefícios ambientais e sociais, e potencial de adaptação a comunidades pesqueiras e a agricultura familiar. A metodologia adotada consiste em uma revisão bibliográfica qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, visando reunir, interpretar e sistematizar conhecimentos teóricos e práticos sobre aquaponia, especialmente no contexto da Engenharia de Pesca, sustentabilidade ambiental e adaptação a diferentes realidades produtivas. Os resultados apontam para uma economia de até 90% no uso da água, aproveitamento eficiente dos resíduos nitrogenados e alinhamento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Apesar da limitação em dados empíricos, a revisão narrativa da literatura demonstra que esse sistema representa uma solução viável para a sustentabilidade da produção aquícola, especialmente em regiões de vulnerabilidade socioambiental.

Palavras-chave: Bioeficiência; Gestão de Recursos; Resiliência Ambiental; Tecnologias Sustentáveis.

ABSTRACT

Population growth, urbanization, and the intensification of agribusiness have significantly increased pressure on water resources and aquatic ecosystems, demanding more efficient and environmentally sustainable production practices. In this context, Fisheries Engineering plays a strategic role in the search for systems that combine economic viability, environmental responsibility, and social inclusion. The integration between aquaculture and hydroponics culminates in aquaponics, a model based on the reuse of waste generated by farmed animals, the reduction of water waste, and the simultaneous production of proteins and vegetables with low environmental impact. It emerges as a promising alternative by favoring the reuse of water and nutrients, reducing the use of synthetic inputs, and enabling production in urban and semi-arid areas. This study aimed to analyze, through a literature review (2014–2024), the viability of the aquaponic system as a sustainable practice applied to Fisheries Engineering, highlighting its technical fundamentals, environmental and social benefits, and potential for adaptation to fishing communities and family farming. The adopted methodology consists of a qualitative literature review, of an exploratory and descriptive nature, aimed at gathering, interpreting, and systematizing theoretical and practical knowledge about aquaponics, especially in the context of Fisheries Engineering, environmental sustainability, and adaptation to different production realities. The results point savings of up to 90% in water use, efficient use of nitrogenous waste, and alignment with the Sustainable Development Goals (SDGs). Despite the limitation of empirical data, the narrative literature review demonstrates that this system represents a viable solution for the sustainability of aquaculture production, especially in regions of socio-environmental vulnerability.

Keywords: Bioefficiency; Environmental Resilience; Resource Management; Sustainable Technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Relação da aquaponia com a segurança alimentar e o tripé da sustentabilidade.....	12
Figura 2 – Funcionamento esquemático de um sistema aquapônico	18
Figura 3 - Diferentes configurações de modelos aquapônicos básicos: acoplado (A e C) e desacoplado (B).....	20
Figura 4 – Mídia filtrante (media bed)	211
Figura 5 – Fluxo de nutrientes (NFT – Nutrient Film Technique)	211
Figura 6 - Raiz flutuante (Deep Water Culture – DWC)	222
Figura 7 – Ciclo do Nitrogênio.....	233
Figura 8 - Material de referência utilizado na pesquisa bibliográfica entre 2014 e 2024.....	30
Figura 9 - Número de estudos analisados, organizados por ano de publicação.....	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1	Bases conceituais: Engenharia de Pesca, Aquicultura e Hidroponia	14
3.2	Conceito e Origem da Aquaponia	15
3.3	Histórico e Evolução da Aquaponia no Mundo e no Brasil	16
3.4	Estrutura e Funcionamento dos Sistemas Aquapônicos	18
3.5	Modelos de Sistemas Aquapônicos	20
3.6	O Ciclo do Nitrogênio na Aquaponia	22
3.7	Benefícios Ambientais: Uso Racional da Água e Redução de Efluentes	24
3.8	Sustentabilidade e Produção Integrada: Contribuições para Comunidades Pesqueiras e Agricultura Familiar	25
3.9	Aplicações da Aquaponia na Engenharia de Pesca	26
3.10	Relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)	27
4	METODOLOGIA	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1	Fundamentação Técnica e Ecológica da Aquaponia	32
5.2	Avaliação da Viabilidade Técnica e Aplicabilidade	33
5.3	Benefícios Ambientais e Sustentabilidade	33
5.4	Potencial da Aquaponia na Engenharia de Pesca	34
5.5	Recomendações de Aprimoramento e Potencial de Expansão	35
5.6	Desafios e Limitações Identificados na Literatura	35
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial, a urbanização acelerada e a intensificação das atividades agroindustriais têm pressionado os recursos hídricos e os ecossistemas aquáticos, exigindo práticas produtivas mais eficientes e ambientalmente sustentáveis. Nesse cenário, destaca-se a relevância da Engenharia de Pesca, área que atua diretamente na gestão e desenvolvimento de sistemas aquícolas, sendo essencial a busca por alternativas produtivas que aliem eficiência técnica, viabilidade econômica e responsabilidade socioambiental (Santos *et al.*, 2020, p. 145).

A aquaponia é compreendida como um sistema de produção integrado que une a criação de organismos aquáticos e o cultivo de plantas sem solo em um ciclo fechado, no qual os resíduos metabólicos dos peixes são transformados em nutrientes para as plantas, e estas, por sua vez, contribuem para a depuração da água que retorna ao sistema aquícola. Segundo Somerville *et al.* (2014), esse modelo pode ser considerado uma forma eficiente de produção de alimentos em pequena e média escala, sobretudo em contextos urbanos. De forma complementar, Wirza e Nazir (2021) apontam que a aquaponia tem se destacado como alternativa sustentável de agricultura urbana, por otimizar o uso da água e reduzir o descarte de efluentes. Em perspectiva mais recente, Palm (2024) reforça que a aquaponia deve ser entendida a partir de seus princípios e tecnologias fundamentais, priorizando o caráter ecológico e produtivo da integração entre aquicultura e hidroponia. Assim, observa-se que os conceitos contemporâneos convergem para a definição da aquaponia como um sistema sustentável, de caráter circular, capaz de integrar produção de alimentos, inovação tecnológica e preservação ambiental.

Por conseguinte, Love *et al.* (2015) e Yep e Zheng (2019), relatam que a aquaponia tem ganhado destaque como uma solução inovadora para enfrentar os desafios ambientais associados à produção intensiva de pescado e vegetais. Esse modelo de produção favorece o reuso da água, reduz a necessidade de fertilizantes sintéticos e permite maior controle sanitário do ambiente produtivo (Goddek *et al.*, 2019; König *et al.*, 2021). Tais características estão diretamente alinhadas aos princípios da sustentabilidade, pois promovem eficiência no uso de insumos e minimizam impactos ambientais.

A aquaponia se alinha de forma direta ao tripé da sustentabilidade, pois integra benefícios ambientais, sociais e econômicos em um único sistema produtivo. Do ponto de vista ambiental, reduz o consumo de água e minimiza o descarte de efluentes, configurando-se como uma alternativa de baixo impacto em comparação aos sistemas convencionais de produção aquícola e agrícola (Somerville *et al.*, 2014).

Sob a ótica econômica, destaca-se pela possibilidade de diversificação da produção e pela geração de renda a partir da comercialização simultânea de peixes e hortaliças, apresentando-se como um modelo viável para pequenos e médios produtores (Palm *et al.*, 2018).

No âmbito social, a aquaponia favorece a segurança alimentar e nutricional ao fornecer alimentos frescos, livres de resíduos químicos, além de contribuir para a inclusão produtiva em áreas urbanas e rurais vulneráveis (Wirza; Nazir, 2021). Assim, observa-se que a aquaponia materializa os princípios da sustentabilidade, ao conjugar eficiência ecológica, viabilidade econômica e relevância social em um sistema circular e integrado.

Para Palm *et al.*, (2018), na perspectiva da Engenharia de Pesca, a adoção de sistemas aquapônicos representa uma evolução nas práticas de cultivo de organismos aquáticos, contribuindo com soluções inovadoras para a mitigação dos efeitos negativos das criações convencionais, como a eutrofização e o desperdício hídrico. Além disso, os sistemas aquapônicos viabilizam a produção em áreas urbanas e periurbanas, reduzindo o transporte de alimentos e promovendo a segurança alimentar (Somerville *et al.*, 2014).

A aquaponia contribui significativamente para a segurança alimentar ao integrar a produção de peixes e hortaliças em um mesmo sistema, garantindo o fornecimento contínuo de alimentos frescos, nutritivos e livres de contaminantes químicos. Segundo Somerville *et al.* (2014), esse modelo permite que nutrientes provenientes dos resíduos dos peixes sejam aproveitados pelas plantas, promovendo eficiência na produção e reduzindo perdas de insumos, o que aumenta a disponibilidade de alimentos em regiões com recursos limitados. Além disso, Wirza e Nazir (2021) destacam que a aquaponia favorece a produção local e a diversificação alimentar, tornando-se uma ferramenta estratégica para a agricultura urbana e para comunidades rurais vulneráveis.

No contexto brasileiro, estudos indicam que a adoção de sistemas aquapônicos em pequenos e médios empreendimentos familiares fortalece a soberania alimentar e a inclusão produtiva, oferecendo fontes confiáveis de proteína e micronutrientes essenciais (Pérez-Urrestarazu *et al.*, 2019; Franco *et al.*, 2024). Esses benefícios estão em consonância com o conceito de segurança alimentar e nutricional definido pela Lei Orgânica de Segurança Alimentar e Nutricional (LOSAN, Lei 11.346/2006), que estabelece a garantia do direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, com base em práticas alimentares saudáveis e sustentáveis sob os aspectos ambiental, cultural, econômico e social. Dessa forma, a aquaponia não apenas amplia a disponibilidade de alimentos, mas também contribui para a efetivação da segurança alimentar, promovendo práticas integradas, sustentáveis e resilientes frente a desafios ambientais e socioeconômicos (Figura 1).

Figura 1 - Relação da aquaponia com a segurança alimentar e o tripé da sustentabilidade



Fonte: O autor

Estudos realizados por Silva *et al.*, (2022) e Oliveira *et al.*, (2023) reforçam o potencial da aquaponia como ferramenta para o desenvolvimento sustentável, sobretudo em regiões com escassez hídrica ou elevado índice de degradação ambiental, como é o caso de diversas áreas do semiárido brasileiro. A eficiência no uso da água e a capacidade de integrar diferentes cadeias produtivas agrícolas tornam a aquaponia uma tecnologia estratégica para a Engenharia de Pesca, ao fomentar práticas produtivas resilientes e ambientalmente responsáveis.

Dessa maneira, este estudo justifica-se pela necessidade de aprofundar a compreensão sobre os benefícios, limitações e desafios da aquaponia como estratégia de sustentabilidade produtiva na Engenharia de Pesca, com foco na redução dos impactos ambientais da produção convencional e na valorização de tecnologias adaptadas a realidades socioambientais diversas. Nesse sentido, emerge a problematização acerca de como a aquaponia pode ser aplicada como alternativa sustentável na Engenharia de Pesca, contribuindo para a redução de impactos ambientais, para o uso eficiente de recursos naturais e para a viabilidade produtiva em comunidades vulneráveis, especialmente no semiárido brasileiro.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar, por meio de revisão de literatura, a viabilidade da aquaponia como alternativa sustentável integrada às práticas e demandas da Engenharia de Pesca, destacando seu potencial na mitigação de impactos ambientais, no uso eficiente dos recursos naturais e na adaptação a comunidades pesqueiras e a agricultura familiar.

2.2 Objetivos específicos

- Sistematizar experiências e estudos (2014–2024) que evidenciem a eficácia da aquaponia na gestão hídrica, na redução de resíduos e na sustentabilidade produtiva.
- Recomendar melhorias no sistema aquapônico que ampliem seu potencial de uso em comunidades pesqueiras, zonas rurais, projetos de agricultura familiar

sustentável e regiões com escassez hídrica, especialmente no semiárido brasileiro;

- Elencar os principais benefícios ambientais da aquaponia, com ênfase na redução do consumo hídrico e no reaproveitamento de resíduos;
- Investigar os fundamentos técnicos estruturais e ecológicos da aquaponia como alternativa à aquicultura tradicional, com foco na sustentabilidade.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

3.1 Bases conceituais: Engenharia de Pesca, Aquicultura e Hidroponia

A compreensão dos fundamentos da aquaponia requer, antes, o entendimento das três áreas que a compõem: Engenharia de Pesca, Aquicultura e Hidroponia. Cada uma dessas áreas do conhecimento oferece aportes técnicos e científicos essenciais para o desenvolvimento de sistemas aquapônicos sustentáveis.

A Engenharia de Pesca é um campo multidisciplinar que abrange o planejamento, o desenvolvimento e o aperfeiçoamento de tecnologias aplicadas à cadeia produtiva da pesca e da aquicultura, promovendo o uso sustentável dos recursos aquáticos. Segundo Barbosa *et al.* (2019), essa área envolve desde a concepção de sistemas produtivos até a gestão ambiental, o processamento e a comercialização de organismos aquáticos. O profissional da área atua no equilíbrio entre produção, conservação ambiental e desenvolvimento socioeconômico, sendo crucial na transição para sistemas de produção sustentáveis.

A Aquicultura, por sua vez, é definida como o cultivo controlado de organismos aquáticos, como peixes, crustáceos, moluscos e algas, em ambientes naturais ou artificiais. O crescimento dessa prática como solução para a segurança alimentar global é evidente. Segundo dados da FAO (2024), pela primeira vez na história, a produção proveniente da aquicultura superou a produção pesqueira, representando aproximadamente 52% do total. No entanto, o avanço da aquicultura intensiva tem levantado preocupações quanto à degradação ambiental, uso de água e emissão de resíduos, tornando urgente o desenvolvimento de técnicas integradas e sustentáveis.

Já a Hidroponia consiste no cultivo de plantas sem solo, utilizando soluções nutritivas em meio aquoso para fornecer os elementos essenciais ao desenvolvimento vegetal. Essa técnica destaca-se pela eficiência no uso da água, pela ausência de agrotóxicos e pelo maior controle das condições de cultivo, sendo amplamente utilizada em ambientes urbanos e regiões com limitações de solo (Resh, 2022).

A integração entre aquicultura e hidroponia culmina na aquaponia, se baseia no reaproveitamento de resíduos como as excretas dos peixes, sobras de ração, na redução de desperdícios e na produção simultânea de proteínas e vegetais com baixo impacto ambiental. A Engenharia de Pesca, nesse contexto, tem papel central na concepção, manejo e otimização desses sistemas, contribuindo para sua viabilidade técnica, econômica e ecológica (Goddek *et al.*, 2019).

3.2 Conceito e Origem da Aquaponia

O renascimento da aquaponia no século XXI deve-se ao crescente interesse por sistemas de produção sustentáveis e eficientes no uso de recursos naturais, especialmente água e fertilizantes. Love *et al.*, (2015); Yep & Zheng, (2019), afirmam que a partir dos anos 2000, centros de pesquisa passaram a investigar a viabilidade técnica, econômica e ecológica dessa abordagem, resultando em importantes avanços na sua aplicação em diferentes contextos, como escolas, comunidades urbanas, fazendas experimentais e sistemas comerciais.

Mais recentemente, a aquaponia tem se consolidado como uma alternativa viável e promissora para a produção de alimentos em pequena e larga escala, principalmente em ambientes urbanos e regiões com escassez hídrica.

A aquaponia é um sistema de produção de alimentos que combina a criação de organismos aquáticos (aquicultura) e o cultivo de plantas sem solo (hidroponia), no qual os resíduos metabólicos dos peixes são convertidos em nutrientes para as plantas, promovendo o reaproveitamento da água e a sustentabilidade do sistema (Alves; Luz, 2021, p. 297).

Esse modelo de produção tem se destacado por sua capacidade de reduzir o consumo de água, diminuir a poluição gerada por efluentes e otimizar o uso de recursos em comparação aos métodos convencionais. Nesse processo, os dejetos excretados pelos peixes são transformados por bactérias nitrificantes em formas

aproveitáveis de nutrientes (principalmente nitratos), que são então absorvidos pelas plantas, promovendo o equilíbrio do sistema melhorando a qualidade da água para os peixes. Em retorno, as plantas agem como um biofiltro natural, absorvendo os nutrientes dissolvidos na água, o que contribui para o seu tratamento biológico e remoção de compostos indesejados. A água, com a qualidade melhorada, é então reutilizada no tanque de cultivo dos peixes, fechando o ciclo do sistema (Goddek *et al.*, 2017; Palm *et al.*, 2018).

Como descrito por Somerville *et al.* (2014), esse sistema mimetiza os processos naturais dos ecossistemas aquáticos, permitindo uma produção integrada e sustentável de proteína animal e vegetal. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) destaca que a aquaponia é especialmente vantajosa em regiões com escassez de água e solo fértil, além de oferecer um caminho viável para a agricultura urbana e periurbana.

Goddek *et al.* (2015) afirma que o sucesso da aquaponia depende do equilíbrio entre três organismos principais: os peixes, as plantas e as bactérias nitrificantes. Finkelstein (2018) sobrepõe que há um equilíbrio entre todos os organismos do sistema que não pode ser alterado por substâncias externas. A interação entre esses componentes permite que o sistema seja quase fechado, com mínima necessidade de troca de água e sem o uso de fertilizantes químicos ou pesticidas. Vale ressaltar que o produtor que faz uso desse sistema consequentemente está elevando a qualidade de seu produto e agregando valor ao mesmo.

3.3 Histórico e Evolução da Aquaponia no Mundo e no Brasil

Embora o termo aquaponia seja relativamente recente, pois a formalização do seu conceito ocorreu apenas nas últimas décadas, seus fundamentos se baseiam em práticas ancestrais de integração entre atividades aquícolas e agrícolas. Mesmo sem o conhecimento técnico que se tem hoje, segundo registros históricos apontam que civilizações antigas, como os astecas (México) e populações do Sudeste Asiático, já utilizavam métodos rudimentares de produção conjunta de peixes e plantas, evidenciando o caráter milenar dessa prática. Da mesma forma, há indícios de que, por volta de 1.000 a.C., os chineses empregavam sistemas nos quais peixes eram cultivados juntamente com plantas

de arroz, estabelecendo uma relação simbiótica natural (Rakocy *et al.*, 2014; Somerville *et al.*, 2014).

Com o avanço das pesquisas científicas no século XX, a aquaponia passou a ser estudada de forma sistemática. O início da aquaponia como sistema de produção sustentável remonta à década de 1970, quando pesquisadores da Universidade das Ilhas Virgens conduziram os primeiros experimentos com sistemas integrados de cultivo de tilápias e hortaliças. O trabalho desses pioneiros foi crucial para o desenvolvimento de modelos de recirculação de água que otimizam o uso de nutrientes. A relevância desses estudos históricos é amplamente documentada e consolidada em trabalhos posteriores, como o de Rakocy *et al.* (2006). Esse estudo foi fundamental para o desenvolvimento da aquaponia moderna, baseada no equilíbrio ecológico e na sustentabilidade.

Nas últimas décadas, países como Estados Unidos, Alemanha, Austrália e Canadá têm investido em tecnologias para aprimorar a eficiência dos sistemas aquapônicos, tanto em pequena quanto em larga escala. Segundo Love *et al.* (2015), o aumento do interesse por práticas agrícolas sustentáveis e a busca por alternativas de produção de alimentos em ambientes urbanos impulsionaram o crescimento da aquaponia no cenário internacional.

No Brasil, o desenvolvimento da aquaponia é mais recente e ganhou força a partir dos anos 2000, por meio de iniciativas voltadas à pesquisa acadêmica, à extensão rural e à inovação tecnológica. De acordo com Gómez (2020), universidades, institutos federais e empresas têm promovido projetos de aquaponia com foco na segurança alimentar, na agricultura familiar e na educação ambiental.

Assim, a aquaponia se consolida como uma alternativa promissora à produção convencional de alimentos, integrando saberes ancestrais, ciência moderna e inovação tecnológica no enfrentamento de desafios contemporâneos, como a escassez de água, a degradação do solo e a necessidade de sistemas produtivos mais sustentáveis.

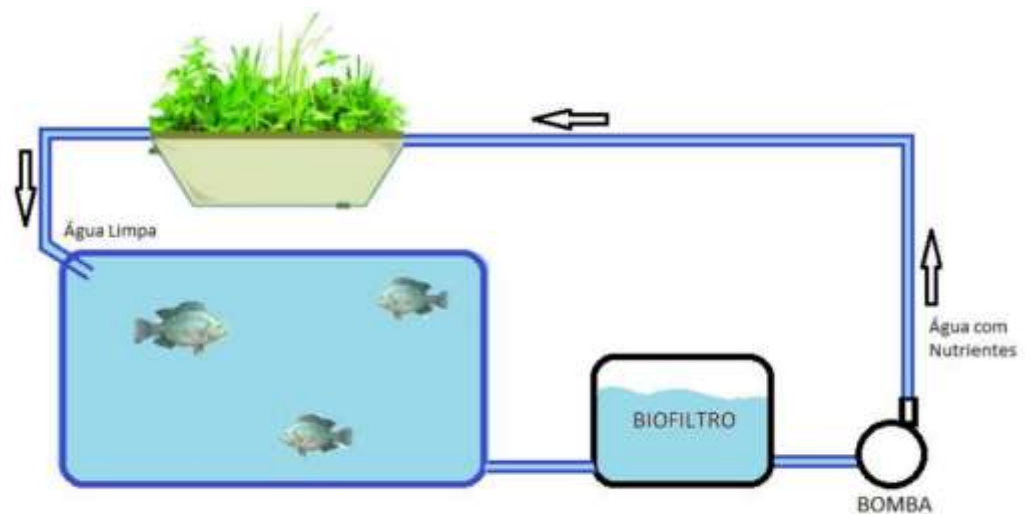
3.4 Estrutura e Funcionamento dos Sistemas Aquapônicos

De modo geral, os sistemas aquapônicos são compostos por três elementos fundamentais que atuam de forma integrada: organismos aquáticos, plantas cultivadas em sistemas hidropônicos e bactérias nitrificantes. Esses componentes desempenham papéis complementares, possibilitando a recirculação da água e a reutilização de nutrientes dentro do sistema (Rakocy *et al.*, 2006; Goddek *et al.*, 2015).

Os organismos aquáticos, como tilápias, carpas, tambacus ou tambaquis, são criados em tanques e produzem matéria orgânica na forma de excretas, especialmente amônia, que se torna tóxica se acumulada. As bactérias nitrificantes, principalmente dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, colonizam os biofiltros e são responsáveis por converter essa amônia em nitrito e, posteriormente, em nitrato uma forma assimilável de nitrogênio utilizada pelas plantas (Goddek *et al.*, 2016).

As plantas são cultivadas em diferentes configurações hidropônicas, como sistemas de raízes flutuantes, canais NFT (*Nutrient Film Technique*) ou substratos inertes. As raízes absorvem os nutrientes diretamente da água, o que resulta em crescimento vegetal acelerado, especialmente em espécies de ciclo curto, como alface, rúcula, espinafre e manjeriço (König *et al.*, 2021) (Figura 2).

Figura 2 – Funcionamento esquemático de um sistema aquapônico



Fonte: Silva, Marcus Vinícius Sevenini (2021).

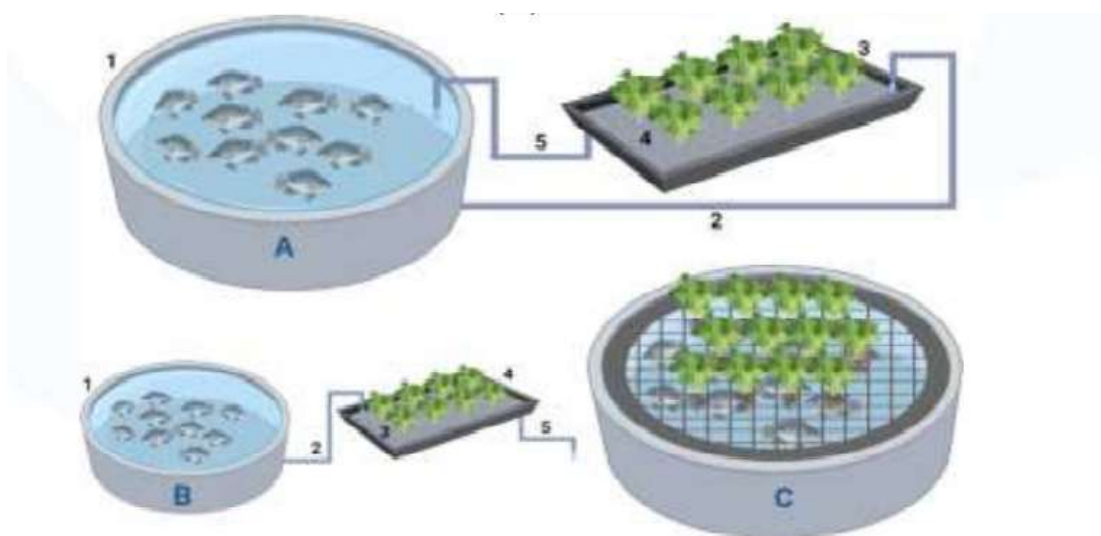
A estrutura de um sistema aquapônico básico, portanto, é composta por três componentes principais:

1. Tanque de criação de peixes – local destinado à produção aquícola, normalmente com espécies resistentes e adaptáveis, como tilápias, carpas ou tambaquis (Palm *et al.*, 2018);
2. Biofiltro – onde se concentram colônias de bactérias nitrificantes, responsáveis pelo tratamento biológico da água e pela transformação dos resíduos nitrogenados em nutrientes disponíveis para as plantas (Goddek *et al.*, 2016);
3. Sistema hidropônico – composto por canaletas ou tanques onde são cultivadas hortaliças, cujas raízes permanecem em contato direto com a água enriquecida por nutrientes, favorecendo o desenvolvimento vegetal (König *et al.*, 2021).

Além desses elementos principais, os sistemas podem conter bombas hidráulicas, aeração mecânica, filtros sólidos, tanques de sedimentação e controladores automatizados de pH, temperatura e oxigênio dissolvido, para garantir a estabilidade do ambiente. O equilíbrio entre esses componentes é fundamental para o bom desempenho do sistema. E a integração entre peixes, plantas e microrganismos constitui a base ecológica e funcional da aquaponia, garantindo o equilíbrio entre produção e sustentabilidade no uso dos recursos naturais.

Os sistemas de produção aquapônicos podem ser classificados de diferentes maneiras, a depender do grau de integração, da técnica de cultivo vegetal empregada e da forma de circulação da água entre os componentes. Em termos gerais, existem dois modelos principais: sistemas acoplados (ou integrados) e sistemas desacoplados (Figura 3).

Figura 3 - Diferentes configurações de modelos aquapônicos básicos: acoplado (A e C) e desacoplado (B)



Fonte: Martinez-Cordova *et al.*, 2023.

Nos sistemas acoplados, a água circula continuamente entre os tanques de peixes e os leitos de cultivo das plantas, utilizando um único sistema hidráulico. Essa estrutura promove economia hídrica e simplicidade operacional, porém exige maior controle sobre os parâmetros físico-químicos da água, pois qualquer alteração afeta simultaneamente os dois compartimentos (Goddek *et al.*, 2015).

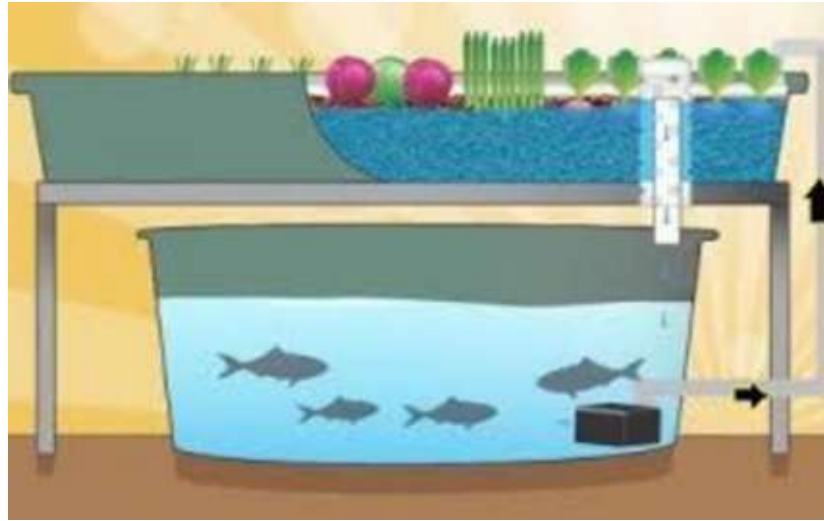
Por outro lado, os sistemas desacoplados operam com dois circuitos hidráulicos separados, permitindo que os peixes e as plantas sejam manejados de forma independente, com mais flexibilidade para ajustes específicos de pH, temperatura e nutrientes. Essa separação aumenta a estabilidade do sistema e tem sido apontada como mais eficiente para produção em escala comercial (Goddek *et al.*, 2019).

3.5 Modelos de Sistemas Aquapônicos

Há diferentes configurações de sistemas aquapônicos, entre as quais se destacam:

- **Mídia filtrante (media bed):** Conhecido como cama de cultivo, usa substratos como argila expandida para apoiar as raízes das plantas e atuar na filtração biológica. É mais comum em sistemas domésticos ou de pequena escala (Love *et al.*, 2015) (Figura 4).

Figura 4 – Mídia filtrante (media bed)



Fonte: Talysson et al., 2018.

- Fluxo de nutrientes (NFT – Nutrient Film Technique): a água circula em um filme fino sobre as raízes das plantas dispostas em calhas. É eficiente no uso de água e muito utilizado em ambientes urbanos (Resh, 2022) (Figura 5).

Figura 5 – Fluxo de nutrientes (NFT – Nutrient Film Technique)



Fonte: Oliveira et al., 2022.

- Raiz flutuante (Deep Water Culture – DWC): as plantas ficam apoiadas em placas flutuantes sobre um tanque com água rica em nutrientes. Permite maior densidade de cultivo, sendo indicado para produção comercial (Yep & Zheng, 2019) (Figura 6).

Figura 6 - Raiz flutuante (Deep Water Culture – DWC)



Fonte: Hydronov, 2024.

A FAO (2014) recomenda o uso de sistemas com leito de mídia para pequenos produtores e fins educativos, devido à sua simplicidade de operação e menor necessidade de equipamentos. Cada modelo possui vantagens e limitações, mas a escolha da estrutura ideal depende de fatores como objetivo produtivo, recursos disponíveis, condições climáticas, conhecimento técnico e realidade socioeconômica da comunidade. Assim como assegura Silva *et al.*, 2022, no contexto da Engenharia de Pesca, esse planejamento integrado é essencial para garantir a viabilidade técnica e ecológica do sistema.

3.6 O Ciclo do Nitrogênio na Aquaponia

No coração do funcionamento da aquaponia está o ciclo do nitrogênio, um processo biogeoquímico essencial para a manutenção da qualidade da água e para a nutrição das plantas. Nesse ciclo, as excretas dos peixes, ricas em amônia, são convertidas por bactérias nitrificantes em nitrito e, posteriormente, em nitrato, que é a forma de nitrogênio facilmente absorvida pelas plantas. Esse mecanismo simbiótico possibilita o tratamento biológico da água e a produção vegetal no mesmo sistema (Somerville *et al.*, 2014; Goddek *et al.*, 2015; Carneiro *et al.*, 2015). Esse ciclo é mediado principalmente por dois grupos de bactérias nitrificantes: as do gênero *Nitrosomonas*, responsáveis pela conversão da amônia (NH_3) em nitrito (NO_2^-), e as do gênero *Nitrobacter*, que oxidam o nitrito em nitrato (NO_3^-) a forma assimilável de nitrogênio pelas plantas (Lonard; Lennad, 2006). Podemos observar

a forma como acontece a interação dos organismos presentes no sistema (Figura 7).

Figura 7 – Ciclo do Nitrogênio



Fonte: S. R. Straube, 2012.

A amônia é excretada pelos peixes como um subproduto metabólico da digestão proteica. Em altas concentrações, essa substância é altamente tóxica aos organismos aquáticos, podendo causar estresse, danos às brânquias e, em casos severos, mortalidade (Somerville et al., 2014; Carneiro et al., 2015). A natureza tóxica da amônia e a sua contínua produção pelos peixes tornam o seu controle um dos principais desafios em sistemas de cultivo intensivo (Yang et al., 2023). A transformação dessa substância em nitrito e, posteriormente, em nitrato é crucial para evitar a toxicidade no sistema. O nitrato, por sua vez, é absorvido pelas raízes das plantas, que utilizam o nutriente para o crescimento e desenvolvimento, promovendo a remoção natural de compostos nitrogenados da água (Goddek et al., 2015; König et al., 2021).

Esse processo, conhecido como nitrificação, ocorre no biofiltro do sistema, onde as bactérias aderem a superfícies sólidas, como substratos porosos ou materiais plásticos com área superficial elevada. A eficiência da nitrificação está diretamente relacionada a fatores como temperatura, pH, oxigenação da água e

tempo de residência, sendo, portanto, um ponto crítico de controle no manejo da aquaponia (Yep e Zheng, 2019).

Além disso, a remoção contínua de nutrientes pelas plantas evita o acúmulo de nitrato, mantendo o equilíbrio iônico e contribuindo para a sustentabilidade do sistema (Goddek *et al.*, 2015; Palm *et al.*, 2018). Essa interação entre organismos aquáticos, plantas e microrganismos transforma a aquaponia em um sistema simbiótico de reciclagem de nutrientes, o que reduz significativamente a necessidade de trocas de água e promove uma produção mais limpa e eficiente (Somerville *et al.*, 2014). Por conseguinte, compreender e controlar o ciclo do nitrogênio é indispensável para garantir a estabilidade do sistema aquapônico, tanto em ambientes de pequena escala quanto em aplicações comerciais. A gestão adequada desse ciclo é uma das atribuições da Engenharia de Pesca quando aplicada a projetos de produção sustentável integrada.

3.7 Benefícios Ambientais: Uso Racional da Água e Redução de Efluentes

Um dos principais diferenciais ambientais da aquaponia em relação aos sistemas tradicionais de produção é o uso racional e eficiente da água. Por se tratar de um sistema fechado e recirculante, a aquaponia consome até 90% menos água do que os métodos convencionais de cultivo em solo e aquicultura em tanques abertos (Love *et al.*, 2015; Goddek *et al.*, 2015).

A água utilizada no tanque de criação dos peixes circula continuamente através do biofiltro e da unidade hidropônica, sendo reutilizada após o processo de filtragem biológica e absorção de nutrientes pelas plantas. Essa recirculação contínua promove a conservação hídrica ao minimizar as perdas por descarte de água, estabelecendo um sistema de reaproveitamento de recursos que é especialmente vantajoso em regiões com escassez hídrica ou vulnerabilidade ambiental (Delaide *et al.*, 2016; Yep e Zheng, 2019).

Outro benefício ambiental relevante é a drástica redução na geração de efluentes, uma vez que os resíduos nitrogenados dos peixes não são descartados no ambiente, mas sim convertidos em nutrientes úteis para as plantas. Em sistemas convencionais de aquicultura, a excreção de amônia e a liberação de rações não consumidas contribuem significativamente para a eutrofização dos

corpos d'água, causando desequilíbrios ecológicos e perdas na biodiversidade aquática (Palm *et al.*, 2018).

Além disso, a aquaponia dispensa o uso de fertilizantes químicos e pesticidas, comuns na agricultura tradicional, o que contribui para a redução da contaminação do solo e da água. Essa característica torna o sistema altamente compatível com os princípios da produção orgânica e da agroecologia, sendo uma alternativa viável para comunidades que dependem diretamente dos recursos naturais para subsistência (König *et al.*, 2021).

Segundo Alves e Luz (2021, p. 297), a aquaponia apresenta-se como uma alternativa viável para a produção sustentável de alimentos, ao promover o uso eficiente da água, a reciclagem de nutrientes e a integração entre sistemas de cultivo animal e vegetal, contribuindo para a preservação dos recursos naturais e a mitigação dos impactos ambientais. Nessa mesma perspectiva, Sátiro, Ramos Neto e Delprete (2018, p. 38–39) reforçam que a aquaponia é uma atividade integrada e colaborativa considerada ecologicamente correta, pois a água da aquicultura alimenta o sistema hidropônico, onde os subprodutos são transformados por bactérias em nutrientes para as plantas, sendo solução para regiões com escassez hídrica.

3.8 Sustentabilidade e Produção Integrada: Contribuições para Comunidades Pesqueiras e Agricultura Familiar

A aquaponia ao integrar a criação de organismos aquáticos com o cultivo hidropônico de plantas, configura-se como um sistema de produção integrada que potencializa a sustentabilidade econômica, social e ambiental (Goddek *et al.*, 2015; Love *et al.*, 2015). Essa integração permite o uso eficiente dos recursos naturais, especialmente água e nutrientes, além de oferecer diversificação produtiva e geração de renda para comunidades locais.

Para comunidades pesqueiras e agricultores familiares, a aquaponia representa uma tecnologia acessível e adaptável, capaz de ser implantada em pequenas e médias escalas, promovendo a segurança alimentar e a autonomia produtiva (Palm *et al.*, 2018). A possibilidade de cultivar peixe e hortaliças em um mesmo espaço otimiza a utilização da terra e reduz a dependência de insumos externos, como fertilizantes e defensivos agrícolas.

Além disso, a redução dos impactos ambientais, por meio da minimização do uso de água e da prevenção da poluição, contribui para a preservação dos ecossistemas aquáticos locais, que muitas vezes são a base da subsistência dessas comunidades (Yep e Zheng, 2019). A disseminação da aquaponia também pode estimular a capacitação técnica e o fortalecimento de redes sociais e econômicas, promovendo o desenvolvimento sustentável regional.

Nesse contexto, a Engenharia de Pesca desempenha papel fundamental ao adaptar e aprimorar sistemas aquapônicos às condições específicas de diferentes regiões e grupos sociais, considerando fatores como clima, disponibilidade de recursos e cultura local. A sustentabilidade da produção integrada em aquaponia, portanto, está diretamente relacionada à sua capacidade de promover inclusão social, conservação ambiental e viabilidade econômica.

3.9 Aplicações da Aquaponia na Engenharia de Pesca

A aquaponia, como tecnologia integrada de produção aquícola e agrícola, representa uma importante área de atuação para a Engenharia de Pesca, sobretudo nas vertentes da produção sustentável de organismos aquáticos, do uso eficiente de recursos hídricos e da inovação tecnológica em sistemas produtivos.

No cenário da Engenharia de Pesca, a aquaponia contribui diretamente para a ampliação de técnicas de cultivo intensivo de peixes em ambiente controlado, permitindo o desenvolvimento de sistemas de recirculação de água (RAS – *Recirculating Aquaculture Systems*), nos quais é possível otimizar a conversão alimentar, minimizar perdas e monitorar parâmetros de qualidade da água em tempo real (Da Silva *et al.*, 2021).

Além disso, a utilização de sistemas aquapônicos é uma alternativa relevante para a diversificação da produção aquícola, especialmente em áreas urbanas ou periurbanas onde a expansão da piscicultura convencional é limitada por espaço ou disponibilidade hídrica. Por integrar o cultivo de vegetais, a aquaponia agrega valor à cadeia produtiva e pode ser aplicada em programas de extensão rural e segurança alimentar (Gómez, 2020).

Outro campo de aplicação é a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis, onde Engenheiros de Pesca atuam no dimensionamento de sistemas, escolha de espécies compatíveis, automação de processos e análise da

eficiência ambiental. Conforme Fernandes *et al.* (2020), a multidisciplinaridade da aquaponia exige conhecimentos em hidrodinâmica, microbiologia, manejo zootécnico e fisiologia vegetal, competências integradas na formação do Engenheiro de Pesca.

No âmbito educacional, a aquaponia também vem sendo utilizada como ferramenta pedagógica em cursos técnicos e de graduação, permitindo o ensino prático de conceitos como ciclo do nitrogênio, ecologia aquática, eficiência produtiva e sustentabilidade.

Destarte, a aquaponia amplia o campo de atuação do profissional de Engenharia de Pesca, ao mesmo tempo em que oferece soluções inovadoras para os desafios da produção de alimentos com menor impacto ambiental.

3.10 Relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

A aquaponia se destaca como uma tecnologia inovadora e sustentável, diretamente alinhada com diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) na Agenda 2030. Essa abordagem integrada de produção contribui para a segurança alimentar, o uso eficiente dos recursos naturais e a redução dos impactos ambientais da agricultura e da pesca.

Entre os principais ODS aos quais a aquaponia está associada, destacam-se:

- ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável: A aquaponia promove a produção de alimentos saudáveis e frescos, com um tempo de cultivo reduzido em relação à agricultura convencional. Isso se deve à alta produtividade por metro quadrado, que contribui diretamente para o combate à insegurança alimentar e fortalece sistemas agrícolas resilientes e sustentáveis (Lennard e Leonard, 2006; FAO, 2021).
- ODS 6 – Água Potável e Saneamento: O sistema aquapônico opera em ciclo fechado, utilizando até 90% menos água que os sistemas agrícolas convencionais. Esse uso racional da água é essencial em contextos de escassez hídrica e representa um modelo eficiente de gestão integrada dos recursos hídricos (Silva *et al.*, 2018).

- ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis: A aquaponia se baseia na recirculação e reaproveitamento de nutrientes, reduzindo o desperdício e minimizando a emissão de poluentes. A aquaponia aplica de forma clara os princípios da economia circular, ao integrar os resíduos metabólicos dos peixes como fertilizante para as plantas. Em vez de descartar os efluentes ricos em nutrientes, o sistema os transforma em um recurso valioso, o que otimiza o uso de recursos, minimiza a geração de resíduos e contribui para um modelo de produção mais sustentável (Goddek *et al.*, 2019; FAO, 2021).
- ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima: Ao reduzir a necessidade de fertilizantes sintéticos, diminuir a emissão de gases de efeito estufa e utilizar energia de forma mais eficiente, os sistemas aquapônicos contribuem para mitigar os impactos das mudanças climáticas (Mchunu *et al.*, 2017).
- ODS 14 – Vida na Água: Ao adotar práticas sustentáveis de aquicultura, como o controle da qualidade da água e a não contaminação de ambientes naturais, a aquaponia favorece a preservação dos ecossistemas aquáticos e promove o uso sustentável dos oceanos e corpos d'água interiores (FAO, 2020).

Deste modo, a adoção da aquaponia representa uma estratégia prática para o cumprimento da Agenda 2030, promovendo não apenas ganhos produtivos, mas também sociais e ambientais, em consonância com os princípios da sustentabilidade.

4 METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de literatura de natureza qualitativa, com abordagem exploratória e descritiva. A escolha por essa metodologia fundamenta-se na necessidade de reunir, interpretar e sistematizar conhecimentos teóricos e aplicados sobre a aquaponia, especialmente no contexto da Engenharia de Pesca, com foco na sustentabilidade ambiental e na adaptação a diferentes realidades produtivas presentes na literatura.

O presente trabalho baseou-se em uma revisão bibliográfica de estudos publicados durante um período de 10 anos (2014–2024), a fim de compreender os avanços, desafios e perspectivas dessa prática no cenário nacional.

Todo o estudo foi conduzido de forma virtual por meio da coleta e análise de dados, dada a relevância de trabalhos científicos, técnicos e relatórios, que

fundamentam e embasam a análise da viabilidade da aquaponia. Conforme Gil, 2008, o caráter bibliográfico se justifica pela utilização de fontes secundárias como artigos científicos, livros, dissertações, teses, manuais técnicos e documentos institucionais para a construção teórica do estudo.

As buscas foram realizadas em bases de dados acadêmicas como Google Acadêmico, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO, Portal de Periódicos da CAPES e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), utilizando descritores combinados como: aquaponia, engenharia de pesca, sustentabilidade, comunidades pesqueiras, agricultura familiar, recirculação de água, desenvolvimento sustentável, sistemas aquapônicos, qualidade da água e impactos ambientais.

De acordo com os resultados obtidos com as pesquisas principais nas plataformas virtuais, os critérios de inclusão consideraram publicações que abordam a aquaponia como alternativa sustentável à aquicultura convencional, discutem aspectos técnicos, ecológicos que se baseiam na lógica de reaproveitamento de recursos e socioeconômicos, apresentam experiências aplicadas em contextos de comunidades pesqueiras ou agricultura familiar. E como critérios de exclusão, foram considerados publicações que não apresentassem fundamentação científica ou técnica consistente para a área estudada, estivessem fora do recorte temporal estabelecido, fossem voltadas exclusivamente a interesses comerciais ou que desconsiderassem a dimensão ambiental e social dos sistemas.

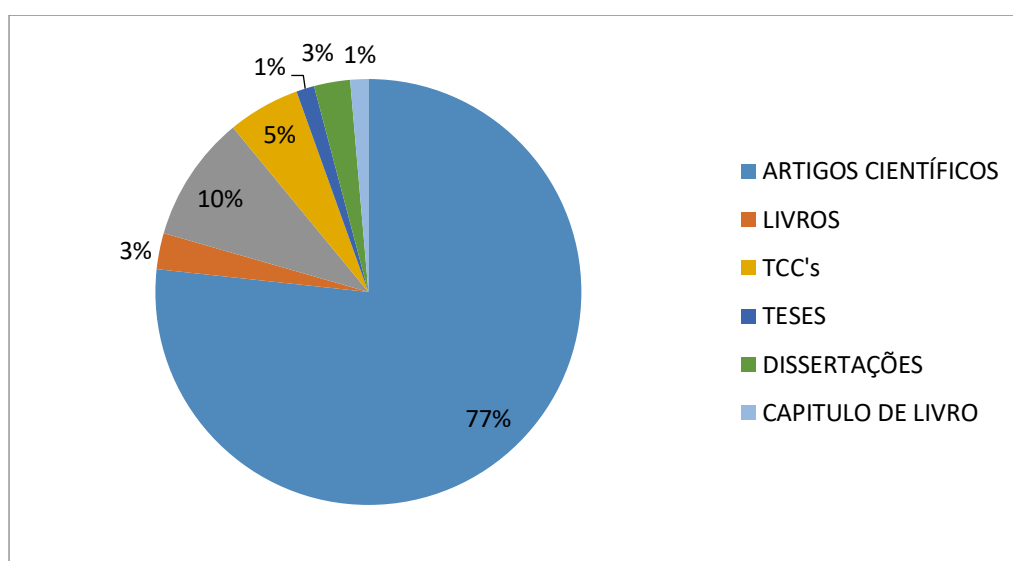
A análise dos dados foi realizada por meio de leitura exploratória, com ênfase na identificação de padrões voltados para questões ambientais, resultados e contribuições relevantes sobre a viabilidade técnica e adaptabilidade da aquaponia. O conteúdo foi organizado de forma temática, considerando os objetivos específicos do estudo. Os temas centrais observados foram: características ambientais da aquaponia, viabilidade técnica da aquaponia, inclusão produtiva e aplicação prática da aquaponia.

Dessa forma, a metodologia adotada possibilitou uma compreensão abrangente dos avanços, desafios e potencialidades da aquaponia no contexto da Engenharia de Pesca, conforme registrado na literatura acadêmica mais recente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na análise dos estudos revisados entre 2014 a 2024, foram utilizados um total de 73 publicações, que se dividem em: 7 publicações técnicas, 2 livros, 1 capítulo de livro, 56 artigos científicos, 2 dissertações, 1 tese, e 4 trabalhos de conclusão de curso (Figura 8).

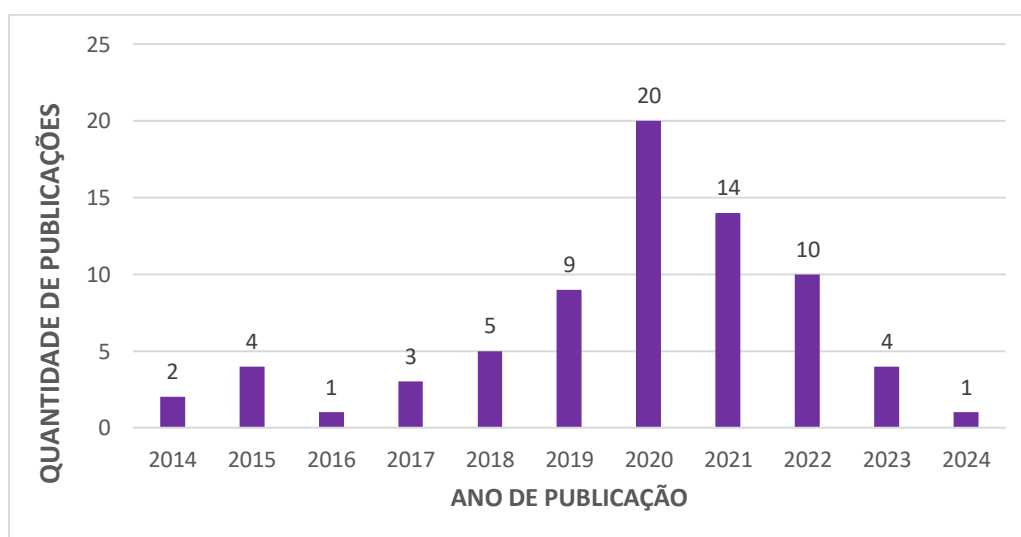
Figura 8 - Material de referência utilizado na pesquisa bibliográfica entre 2014 e 2024



Fonte: O autor

Os anos que foram encontrados mais estudos à respeito do tema abordado foram 2020 e 2021, seguido por 2022 e 2019 (Figura 9).

Figura 9 - Número de estudos analisados, organizados por ano de publicação.



Fonte: O autor.

Dentre os principais resultados identificados, destacam-se:

- A significativa economia de água, com redução de até 90% no consumo em comparação à agricultura convencional (Goddek *et al.*, 2019);
- A eficiência no reaproveitamento de resíduos nitrogenados provenientes da piscicultura, utilizados como nutrientes para as plantas (Palm *et al.*, 2018);
- A possibilidade de implementação em comunidades vulneráveis, promovendo a autossuficiência alimentar (Silva *et al.*, 2022);
- O alinhamento aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os de combate à fome, à pobreza e à preservação dos recursos naturais.

Entretanto, o principal obstáculo desse trabalho foi que a limitação desta pesquisa consistiu na ausência de dados empíricos diretos. Como se trata de uma revisão bibliográfica, não foi realizada coleta de dados em campo, nem análise experimental de sistemas aquapônicos. Além disso, a dependência de fontes secundárias pode limitar a atualização dos dados conforme surgem novas tecnologias ou políticas ambientais.

Contudo, a revisão aprofundada e sistemática da produção científica confere robustez ao estudo, ao permitir uma visão ampla, crítica e fundamentada sobre o papel da aquaponia na sustentabilidade e na mitigação dos impactos ambientais no meio aquático.

Os resultados desta pesquisa foram organizados em seis tópicos, com base nos objetivos propostos e nos estudos revisados. Cada seção discute os principais achados sobre a viabilidade da aquaponia como alternativa sustentável na Engenharia de Pesca, considerando aspectos técnicos, ambientais e sociais.

5.1 Fundamentação Técnica e Ecológica da Aquaponia

A análise da literatura mostrou que o funcionamento adequado dos sistemas aquapônicos depende principalmente da integração entre a criação de peixes e o cultivo de plantas. Segundo Goddek *et al.* (2015) e Leonard e Lennard (2006), o equilíbrio entre a produção de organismos aquáticos e a absorção dos nutrientes pelas plantas é essencial para a estabilidade ecológica do sistema.

Outro ponto importante é o ciclo do nitrogênio, que garante a conversão da amônia excretada pelos peixes em nitrato, uma forma assimilável pelas plantas.

Esse processo é feito por bactérias nitrificantes, como *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, que mantêm a qualidade da água (Leonard; Lennard, 2006). Junge *et al.* (2017) também ressaltam que o manejo técnico, incluindo o monitoramento da água e a escolha correta das espécies, é fundamental para o bom desempenho do sistema.

Embora o princípio da aquaponia se baseie no reaproveitamento de nutrientes das excretas dos peixes, a realidade técnica demonstra que a composição dos resíduos nem sempre atende perfeitamente às necessidades nutricionais das plantas. O balanço entre os nutrientes provenientes da ração e a demanda nutricional dos vegetais é uma das principais questões a serem gerenciadas. Em muitos casos, o fósforo, o ferro e outros micronutrientes podem estar presentes em concentrações inadequadas para o crescimento ideal das plantas (Möller *et al.*, 2020). O fósforo, por exemplo, é um elemento essencial para o desenvolvimento de hortaliças, mas pode não ser suficiente apenas com o efluente dos peixes (Goddek *et al.*, 2015).

A otimização do aproveitamento desse nutriente depende de um manejo adequado da ração fornecida e da possível suplementação, caso necessário. O controle preciso da entrada de insumos, como a ração, influencia diretamente a qualidade da água e a disponibilidade de nutrientes, o que exige conhecimento técnico para evitar desequilíbrios que possam comprometer tanto a saúde dos peixes quanto o crescimento das plantas.

A escolha das espécies de peixes e plantas é um fator determinante para o sucesso técnico de um sistema aquapônico. A viabilidade produtiva é alcançada pela seleção de organismos que sejam compatíveis entre si. As tilápias, por sua rusticidade e rápido crescimento, são as espécies de peixe mais utilizadas, pois se adaptam bem aos parâmetros de qualidade de água do sistema. Da mesma forma, vegetais folhosos como alface, rúcula e couve são ideais para as fases iniciais, pois têm alta tolerância ao nitrato e crescem rapidamente (Somerville *et al.*, 2014). Uma análise técnica mais profunda envolve a exploração de espécies com diferentes demandas de nutrientes, como o tomate, que requerem maiores concentrações de potássio, e o desenvolvimento de estratégias para atender a essas necessidades sem comprometer a saúde dos peixes (Palm *et al.*, 2018).

5.2 Avaliação da Viabilidade Técnica e Aplicabilidade

Os estudos revisados indicam que a aquaponia é viável do ponto de vista técnico, especialmente a médio e longo prazo. Rakocy *et al.* (2006) e Goddek & Körner (2019) explicam que, apesar dos custos iniciais mais altos, o sistema compensa pelo reaproveitamento de água e nutrientes, além da possibilidade de produzir dois tipos de alimentos ao mesmo tempo.

No Brasil, trabalhos como os de Prado *et al.* (2021) e Silva *et al.* (2021) mostram que a aplicação da aquaponia em comunidades rurais e pesqueiras é possível, desde que haja capacitação técnica e apoio de instituições públicas. No semiárido, por exemplo, a adoção de espécies resistentes ao calor e sistemas de captação de água da chuva tem possibilitado bons resultados.

A gestão adequada desses desafios técnicos é uma das principais atribuições do engenheiro de pesca. Como responsável técnico, este profissional possui a capacitação para gerir, entender e equilibrar o ciclo do nitrogênio, monitorar a qualidade da água, e otimizar o aproveitamento dos nutrientes, visando a minimização dos impactos fisiológicos tanto nos organismos aquáticos quanto nas plantas (UFC, 2024; UFS, 2016). O conhecimento em fisiologia de peixes, nutrição, e ecossistemas aquáticos permite que o engenheiro de pesca faça a mensuração correta dos insumos e implemente soluções técnicas para aprimorar a eficiência produtiva, elevando a aquaponia de um simples experimento a um projeto comercialmente viável e sustentável.

5.3 Benefícios Ambientais e Sustentabilidade

A literatura científica do período analisado evidencia que a aquaponia se destaca pelos seus benefícios ambientais, principalmente pela sua capacidade de reduzir significativamente a emissão de efluentes, ou seja, redução de resíduos e pela economia de água, quando comparada aos modelos tradicionais de cultivo. Segundo Endut *et al.* (2010) e Palm *et al.* (2018), a recirculação contínua da água no sistema permite perdas mínimas por evaporação e transpiração vegetal, sendo altamente eficaz em regiões com escassez hídrica. Love *et al.* (2015) complementam, destacando que esse tipo de sistema pode economizar até 90% da água usada na agricultura tradicional.

Além da eficiência hídrica, os resíduos nitrogenados excretados pelos peixes, principalmente na forma de amônia, são biologicamente convertidos em nitrato por bactérias nitrificantes. Esse nutriente é prontamente absorvido pelas plantas, o que fecha o ciclo de nutrientes e evita o descarte de compostos nitrogenados nos corpos d'água, prevenindo processos como a eutrofização (Goddek *et al.*, 2015; Yildiz *et al.*, 2021). Esse mecanismo reduz a necessidade de troca constante de água e reforça a sustentabilidade do sistema.

De acordo com Graber e Junge, 2009; Somerville *et al.*, 2014, adicionalmente, os resíduos gerados pelos peixes são reutilizados como fertilizantes naturais, diminuindo a necessidade de adubos químicos e o uso de pesticidas. Isso reduz os impactos ambientais, como a poluição do solo e a lixiviação de nutrientes. Nesse sentido, Fernandes *et al.* (2020) também observam que, ao evitar o uso de insumos sintéticos, a aquaponia protege os aquíferos e mantém a qualidade dos cursos d'água, o que representa um avanço para a saúde humana e para a conservação ambiental.

Pesquisas mais recentes, como as de Costa *et al.* (2020), Rocha *et al.* (2022), Ardiansyah *et al.* (2023) e Knaus e Palm (2023), indicam que, aliada ao reuso de água e ao uso de fontes de energia renovável, a aquaponia urbana representa uma estratégia resiliente frente à degradação dos ecossistemas aquáticos causada pela agricultura convencional. Além de seus impactos positivos diretos, essa tecnologia está alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), sobretudo no que se refere a segurança alimentar, a gestão hídrica e a produção responsável.

5.4 Potencial da Aquaponia na Engenharia de Pesca

No universo da Engenharia de Pesca, a aquaponia representa uma possibilidade inovadora para diversificar a produção e reduzir os impactos ambientais da aquicultura convencional. Ela permite que os profissionais da área trabalhem com um sistema integrado, aplicando conhecimentos de diferentes disciplinas, como microbiologia, hidroponia, manejo ambiental, química, física, matemática, economia e engenharia.

A adoção da aquaponia também estimula o desenvolvimento de pesquisas, projetos de extensão e inovação tecnológica, contribuindo para uma formação

mais ampla dos Engenheiros de Pesca e expandindo o campo de atuação desses profissionais.

5.5 Recomendações de Aprimoramento e Potencial de Expansão

Com base na literatura, algumas recomendações de aprimoramento dos sistemas aquapônicos envolvem o uso de tecnologias mais acessíveis, como painéis solares, sistemas automatizados de controle da água e maior variedade de espécies cultivadas (Lopes *et al.*, 2021).

Para o semiárido brasileiro, as pesquisas mostram que a adaptação do sistema é possível com o uso de plantas e peixes tolerantes às altas temperaturas, além de soluções de captação de água da chuva (FAO, 2020; Rocha *et al.*, 2022). Souza *et al.* (2018) destacam que, quando inserida em projetos de agricultura familiar, a aquaponia pode gerar renda, melhorar a alimentação e fortalecer as comunidades locais.

5.6 Desafios e Limitações Identificados na Literatura

Apesar das vantagens, estudos também apontam dificuldades para a ampliação da aquaponia em larga escala. Dentre os principais desafios estão:

- O custo elevado para a implantação inicial dos sistemas permanece como uma das principais barreiras para a adoção da tecnologia em escala comercial, apesar da redução de custos de alguns componentes ao longo dos anos (Möller *et al.*, 2020);
- A necessidade de conhecimentos técnicos específicos, que envolvem áreas distintas (Yildiz *et al.*, 2021);
- A falta de políticas públicas voltadas ao financiamento e à difusão da aquaponia (Fernandes *et al.*, 2020);
- A ausência de padronização técnica, dificultando a replicação do modelo em diferentes regiões (Palm *et al.*, 2018).

Esses desafios indicam que ainda são necessários investimentos em capacitação, apoio institucional e desenvolvimento de tecnologias adaptadas, principalmente para comunidades pesqueiras e agrícolas com poucos recursos. No entanto, estudos como o de Silva (2024) apontam que, com apoio técnico e

políticas públicas, esses obstáculos podem ser superados, viabilizando a popularização da tecnologia.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aquaponia se consolida como um sistema inovador que alia aquicultura e hidroponia de forma sinérgica, promovendo a produção de alimentos de maneira integrada, sustentável e eficiente. Nesse contexto, foi possível identificar os fundamentos técnicos e ecológicos essenciais para o bom funcionamento dos sistemas aquapônicos, destacando a importância do equilíbrio entre os organismos cultivados, o controle de parâmetros da água e o papel das bactérias nitrificantes.

Com relação aos principais benefícios ambientais e sociais, a aquaponia apresenta uma economia significativa de água, com reduções de até 90% em comparação à agricultura convencional, além do reaproveitamento de resíduos da piscicultura como nutrientes para as plantas e da diminuição do uso de fertilizantes e pesticidas químicos. Esses fatores contribuem diretamente para a redução da contaminação dos solos e corpos hídricos, mitigando processos como a eutrofização, ao mesmo tempo em que favorecem práticas agrícolas mais sustentáveis e o fortalecimento da agricultura familiar. Assim, a aquaponia se alinha a diversas metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e reforça seu papel como uma alternativa produtiva que une eficiência técnica com respeito ao meio ambiente.

No contexto da Engenharia de Pesca, a aquaponia possui grande potencial de aplicação, não apenas como ferramenta tecnológica, mas também como campo de atuação profissional, tendo a interdisciplinaridade envolvida nesse sistema perante áreas como biologia, química da água, engenharia de sistemas, gestão ambiental e produção de alimentos. Tal característica fortalece sua relevância na busca por soluções inovadoras e adaptáveis às diferentes realidades brasileiras, sobretudo em regiões vulneráveis.

Concomitante, foram identificados desafios e entraves relevantes para a expansão da aquaponia, sobretudo vinculados ao alto custo inicial de implantação, a necessidade de capacitação técnica dos produtores, a escassez de políticas públicas de incentivo e a limitada padronização dos modelos técnicos. Tais

obstáculos tornam-se ainda mais significativos em regiões vulneráveis, como o semiárido brasileiro, onde a implementação da aquaponia demanda adaptações tecnológicas específicas, acesso a financiamento e suporte institucional. Ainda assim, tais desafios podem ser superados com apoio técnico, políticas públicas e maior divulgação do conhecimento sobre aquaponia.

Apesar dos desafios, diversas experiências bem-sucedidas demonstram a viabilidade do sistema em contextos de baixa disponibilidade hídrica e restrições socioeconômicas. Projetos de agricultura familiar, iniciativas urbanas sustentáveis e ações em comunidades pesqueiras mostram que, com o devido suporte técnico e políticas públicas adequadas, a aquaponia pode ser uma solução estratégica para promover segurança alimentar, geração de renda, educação ambiental e uso racional dos recursos naturais.

Em suma, a aquaponia representa uma alternativa viável e promissora para o desenvolvimento sustentável no campo da Engenharia de Pesca, visto que sua aplicação pode contribuir significativamente para a redução dos impactos ambientais da produção convencional, ao mesmo tempo em que oferece uma nova perspectiva produtiva para regiões que enfrentam desafios relacionados a escassez de água, a degradação ambiental e a exclusão socioeconômica.

Ademais, recomenda-se aprofundar os estudos de campo sobre a implementação da aquaponia em diferentes regiões do Brasil, especialmente em comunidades ribeirinhas e áreas semiáridas. Conjuntamente, é relevante investigar modelos de financiamento, políticas públicas de apoio à tecnologia e estratégias de capacitação de pequenos produtores e pescadores artesanais. Outrossim, a integração entre Universidade, setor público e sociedade civil poderá impulsionar a difusão da aquaponia como prática sustentável e adaptada às necessidades locais.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. F. A.; LUZ, R. K. **Aquaponia como alternativa sustentável para produção de alimentos.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 25, n. 5, p. 297–302, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n5p297>.

ANTONIOLLI, A. **Sistema de monitoramento automatizado para controle de qualidade de água em sistema aquapônico.** Monografia do Curso de Engenharia da Computação da Universidade do Vale do Taquari. Lajeado. 2019.

ARDIANSYAH, A. *et al.* **The future of aquaponics: environmental sustainability and food security.** *Aquaculture Reports*, v. 31, p. 101515, 2023. DOI: 10.1016/j.aqrep.2023.101515.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT.** NBR 6023:2025 – *Informação e documentação – Referências – Elaboração.* Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT.** NBR 14724:2023 – *Trabalhos acadêmicos – Apresentação.* Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT.** NBR 10520:2023 – *Apresentação de citações em documentos.* Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BARBOSA, J. M. *et al.* **A atuação da engenharia de pesca na promoção do desenvolvimento sustentável.** *Revista Científica da Engenharia de Pesca*, v. 12, n. 1, p. 35–48, 2019.

CANASTRA, Inês Isabel de Oliveira. **Aquaponia: Construção de um sistema de aquaponia a uma escala modelo e elaboração de um manual didático.** Porto, Portugal. 2017. Disponível em: [bing.com/ck/a?!&p=5de0381f125ce1a3e4c030f2e0c9947c6a87311d3df25eb8843a9a299bf57ac5JmldHM9MTc1Mjg4MzlwMA&ptn=3&ver=2&hsh=4&fclid=21785236-993c-6b8e-3a6c-47e7986d6ad9&psq=CANASTRA%2c+Inês+Isabel+de+Oliveira.+Aquaponia%3a+Construção+de+um+sistema+de+aquaponia+a+uma+escala+modelo+e+elaboração+de+um+manual+didático.+Porto%2c+Portugal.+2017.&u=a1aHR0cHM6Ly9zaWdhcnJhLnVwLnB0L2ZlcC9lbi9wdWJfZ2VyYWwuc2hvd19maWxIP3BpX2RvY19pZD0xMzg2Mjc&ntb=1](https://www.bing.com/ck/a?!&p=5de0381f125ce1a3e4c030f2e0c9947c6a87311d3df25eb8843a9a299bf57ac5JmldHM9MTc1Mjg4MzlwMA&ptn=3&ver=2&hsh=4&fclid=21785236-993c-6b8e-3a6c-47e7986d6ad9&psq=CANASTRA%2c+Inês+Isabel+de+Oliveira.+Aquaponia%3a+Construção+de+um+sistema+de+aquaponia+a+uma+escala+modelo+e+elaboração+de+um+manual+didático.+Porto%2c+Portugal.+2017.&u=a1aHR0cHM6Ly9zaWdhcnJhLnVwLnB0L2ZlcC9lbi9wdWJfZ2VyYWwuc2hvd19maWxIP3BpX2RvY19pZD0xMzg2Mjc&ntb=1) Acesso em: 21 jun. de 2025.

CARÃO, J. M. *et al.* **Fotovoltaico e Aquaponia: uma proposta de tecnologia para a segurança alimentar (ODS 2) em comunidades vulneráveis.** *Blucher Social Sciences Proceedings*, v. 7, n. 1, p. 260–274, 2024. DOI: 10.5151/FGKD24-44. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/fotovoltaico-e-aquaponia-uma-proposta-de-tecnologia-para-a-segurana-alimentar-ods2-em-comunidades-vulnereis-39283>. Acesso em: 8 jul. 2025.

CARNEIRO, P. C. F. *et al.* **Produção de peixes e vegetais em aquaponia.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1025997/1/folderaquaponiaONLINE.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2025

CONGRESSO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO ANIMAL E VEGETAL (2.: 2022. Agron Food Academy). **Produção animal e vegetal: inovações e atualidades – vol. 2.** II Congresso Brasileiro de Produção Animal e Vegetal, organizado pela Agron Food Academy. [S. l.]: Agron Food Academy, 2022. Disponível em: <https://agronfoodacademy.com/e-book-producao-animal-e-vegetal-inovacoes-e-atualidades-vol-2/>. Acesso em: 3 jul. 2025.

COSTA, D. S. *et al.* **Avaliação da eficiência hídrica de um sistema aquapônico em ambiente urbano.** *Revista Engenharia na Agricultura*, v. 28, n. 5, p. 420–427, 2020. DOI: 10.13083/reveng.v28i5.1107.

DA SILVA, L. R. *et al.* **Sistemas de recirculação aquícola (RAS) como alternativa sustentável na aquicultura brasileira.** *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, Recife, v. 14, n. 2, p. 66–75, 2021.

DELAIDE, B. *et al.* **Water use efficiency in a newly designed aquaponic system.** *Aquacultural Engineering*, v. 74, p. 30-41, 2016.

ENDUT, A. *et al.* **A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system.** *Bioresource Technology*, v. 101, p. 1511–1517, 2010. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.07.115.

FERNANDES, J. A. *et al.* **Potencialidades da aquaponia para agricultura familiar e sustentabilidade.** *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 15, n. 2, p. 173–179, 2020.

FERNANDES, R. S.; COSTA, F. P.; MORAIS, G. F. **Aplicações da aquaponia no ensino de ciências e engenharia: uma abordagem interdisciplinar.** *Revista Extensão & Sociedade*, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 33–44, 2020.

FINKELSTEIN, Rafael. **Um Sistema de Monitoramento para Aquaponia Baseado em Internet das Coisas.** Monografia do Curso de Engenharia da Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The state of world fisheries and aquaculture: sustainability in action.** Rome: FAO, 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/3/ca9229en/CA9229EN.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The State of Food and Agriculture 2021: making agrifood systems more resilient to shocks and stresses.** Rome: FAO, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/publications>. Acesso em: 6 jul. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming**. Rome: FAO, 2014. (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 589).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **FAO report: global fisheries and aquaculture production reaches a new record high**. Rome: FAO, 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-report-global-fisheries-and-aquaculture-production-reaches-a-new-record-high/en>. Acesso em: 18 ago. 2025.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GÓMEZ, A. C. A. **Aquaponia no Brasil: panorama atual e perspectivas futuras**. *Revista Brasileira de Agricultura Sustentável*, Brasília, v. 10, n. 2, p. 44–56, 2020.

GODDEK, S. *et al.* **Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future**. Cham: Springer, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>. Acesso em: 6 jul. 2025.

GODDEK, S. *et al.* **Aquaponics: closing the cycle on limited water, land and nutrient resources**. In: GODDEK, S. *et al.* (ed.). *Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. Cham: Springer, 2019. p. 19–34. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6_2. Acesso em: 6 jul. 2025.

GODDEK, S. *et al.* Challenges of sustainable and commercial aquaponics. In: GODDEK, S. *et al.* (ed.). *Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future*. Cham: Springer, 2016. p. 3–17. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>. Acesso em: 6 jul. 2025.

GODDEK, S.; KÖRNER, O. **A fully integrated simulation model of multi-loop aquaponics: a case study for system dynamics**. *Agricultural Systems*, v. 171, p. 73–86, 2019. DOI: 10.1016/j.agsy.2019.01.010.

GODDEK, S. *et al.* **The principles of aquaponics**. In: GODDEK, S. *et al.* **Aquaponics Food Production Systems**. Cham: Springer, 2015. p. 11-28.

GRABER, A.; JUNGE, R. **Aquaponic systems: nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production**. *Desalination*, v. 246, n. 1–3, p. 147–156, 2009. DOI: 10.1016/j.desal.2008.03.048.

IZUMI, K. K. **Viabilidade econômica da produção integrada do camarão *Macrobrachium rosenbergii* e alface *Lactuca sativa* L. em sistema de aquaponia**. 2021. 46 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura), Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2021.

JUNGE, R. *et al.* **Aquaponics: a global overview of the past, present, and future.** In: RAKOCY, J. E.; GÖSSLING, M. (ed.). **Aquaponics – Food production systems.** Cham: Springer, 2017. p. 1–15. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-51995-3_1.

KNAUS, U.; PALM, H. W. **Aquaponics and sustainable food production: a European perspective.** *Aquaculture International*, v. 31, p. 135–149, 2023.

KÖNIG, Bettina *et al.* **Enhancing sustainable food production by integrating aquaculture and hydroponics using aquaponics: a review.** *Sustainability*, [S.I.], v. 13, n. 4, p. 1–26, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13041958>. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13041958>. Acesso em: 6 jul. 2025.

LENNARD, W. A.; LEONARD, B. V. **A comparison of reciprocating flow, sand-based aquaponic beds and conventional hydroponic beds with regards to tomato (*Lycopersicon esculentum*) production.** *Aquaponics Journal*, [S.I.], n. 42, p. 20–23, 2006.

LENNARD, W. A.; LEONARD, B. V. **A comparison of the water efficiency of soil-based and hydroponic vegetable production systems.** *Journal of Water Science and Technology*, v. 54, n. 4, p. 1-10, 2006.

LONARD, J. M.; LENNARD, W. A. **Aquaponics: the integration of fish and plant culture.** 2. ed. Victoria: RDI Press, 2006.

LOVE, D. C. *et al.* **An international survey of aquaponics practitioners.** *PloS One*, [S.I.], v. 9, n. 7, p. e102662, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102662>. Acesso em: 6 jul. 2025.

LOPES, A. C. M. *et al.* **Uso de energias renováveis em sistemas aquapônicos no semiárido brasileiro.** *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 15, n. 3, p. 220–229, 2021.

MÖLLER, S. *et al.* **Aquaponics as a sustainable solution to food security: a review of current and future trends.** *Global Food Security*, v. 26, p. 100416, 2020.

MCHUNU, N.; LAGARDIEN, A.; XAVIER, X. **Aquaponics in South Africa: results of a national survey.** *Urban Agriculture Magazine*, [S.I.], v. 33, p. 32–34, 2017. Disponível em: <https://ruaf.org/assets/2019/11/UAM33.pdf>. Acesso em: 6 jul. 2025.

NIVALDO, A. L. P. *et al.* **Sistema de aquaponia como alternativa sustentável: impacto na produção de peixes e plantas folhosas.** *Revista Contemporânea*, v. 4, n. 12, e6994, 2024. DOI: 10.56083/RCV4N12-172. Disponível em: <https://doi.org/10.56083/RCV4N12-172>. Acesso em: 8 jul. 2025.

OLIVEIRA, L. M.; SOUSA, J. F.; MOURA, M. M. de. **Avaliação da sustentabilidade de sistemas aquapônicos em comunidades rurais do**

semiárido brasileiro. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Dourados, v. 16, n. 1, p. 89–110, 2023.

PALM, H. W. *et al.* **Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature.** *Aquaculture International*, Dordrecht, v. 26, p. 813–842, 2018. DOI: 10.1007/s10499-018-0249-z. Acesso em: 6 jul. 2025.

PALM, H. W. **Aquaponics nomenclature matters: It is about principles and technologies and not as much about coupling.** *Reviews in Aquaculture*, [S.l.], p. 1–18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12847>.

PALM, H. W. *et al.* **The effect of different plant species on water quality and microbial community in aquaponics.** *Journal of Water Science and Technology*, v. 77, n. 4, p. 1102-1110, 2018.

PRADO, F. C. *et al.* **Implementação de sistema aquapônico em comunidades rurais: estudo de caso no Nordeste do Brasil.** *Revista Brasileira de Agricultura Sustentável*, v. 11, n. 1, p. 54–63, 2021.

RAKOCY, J. E. *et al.* **History and applications of aquaponics.** In: **Proceedings of the 2006 Aquaponics Conference.** University of the Virgin Islands, 2006.

RAKOCY, J. E. *et al.* **History and principles of aquaponics.** In: SOMERVILLE, C. *et al.* **Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming.** Rome: FAO, 2014. cap. 1, p. 1–12.

RAKOCY, J. E. *et al.* **Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics—Integrating Fish and Plant Culture.** Southern Regional Aquaculture Center, n. 454, 2006. Disponível em: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/recirculating-aquaculture-tank-production-systems-aquaponics-integrating-fish-and-plant-culture.html>. Acesso em: 18 ago. 2025.

RAWAL, J. S.; PUSPA, R. C. **Integrating Aquaculture And Hydroponics: A Review Of Aquaponics Systems And Their Sustainability.** *Engineering Heritage Journal*, v. 5, n. 2, p. 53–61, jul. 2024. DOI: 10.26480/gwk.02.2024.53.61. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/382255038_Integrating_Aquaculture_And_Hydroponics_A_Review_Of_Aquaponics_Systems_And_Their_Sustainability. Acesso em: 23 jul. 2025.

RESH, H. M. **Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower.** 8. ed. Boca Raton: CRC Press, 2022.

ROCHA, M. F. *et al.* **Sistemas aquapônicos como alternativa para produção sustentável em áreas semiáridas.** *Ciência Rural*, v. 52, n. 8, e20220147, 2022.

ROS, C. R. R.; DELPINO, M. V.; ADAME, A. **Consumo excessivo de água: aquaponia como método de sustentabilidade ambiental.** In: CONGRESSO da

AJES, s.l., 2019. Anais eletrônicos, s.p. AJES, 2019. Disponível em: <http://www.evento.ajes.edu.br/congresso/uploads/artigos/20191118012129-Es8O.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2025.

SÁTIRO, L. S.; RAMOS NETO, J. D.; DELPRETE, P. G. **Aquaponia como alternativa sustentável no semiárido: uma abordagem prática.** *Cadernos de Agroecologia*, Brasília, v. 13, n. 2, p. 38–40, 2018. Disponível em: <https://cadernos.aba-agroecologia.org.br>. Acesso em: 6 jul. 2025.

SÁTIRO, L. B.; RAMOS NETO, M. B.; DELPRETE, P. G. **Aquaponia: sistema que integra produção de peixes com produção de vegetais de forma sustentável.** *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, São Luís, v. 11, n. 1, p. 38–54, 2018. Disponível em: <https://ppg.revistas.uema.br/index.php/REPESCA/article/view/1513>. Acesso em: 10 jul. 2025.

SANTOS, E. A. *et al.* **Engenharia de pesca e sustentabilidade: desafios e oportunidades no século XXI.** *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, Recife, v. 13, n. 2, p. 135–150, 2020.

SENNA, J. B. **Arranjos produtivos para agricultura familiar em sistemas de aquaponia.** 2023. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia) – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Alegre, 2023.

SIEBENEICHLER, L. M. **Resíduo de aquaponia para produção de hortaliças.** 2021. Relatório de Bolsa de Iniciação Científica – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Rural, Centro de Ciências Agrárias. Orientador: Arcângelo Loss. Bolsa PIBIC/UFSC.

SILVA, A. L. C. *et al.* **Avaliação da aquaponia como alternativa sustentável para comunidades pesqueiras no semiárido.** *Revista Verde*, v. 16, n. 2, p. 65–72, 2021.

SILVA, A. M. S. *et al.* **Potencialidades da aquaponia como alternativa sustentável no uso de recursos hídricos.** *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Pombal, v. 13, n. 1, p. 233–239, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v13i1.6085>.

SILVA, J. H. D. **Análise dos avanços tecnológicos e desafios da aquaponia no sul do Brasil: uma revisão de literatura.** 2024. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Aquicultura) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/264012/TCC%20VERS%203%83O%20FINAL%20%20JO%20C3%83O%20HENRIQUE%20DIAS%20DA%20SILVA%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 abr. 2025.

SILVA, C. E. V. **Montagem e operação de um sistema de aquaponia: um estudo de caso de agricultura urbana para produção de jundiá (*Rhamdia quelen*), tilápia (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*).** 2016. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Aquicultura) —

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/172504/CARLOS%20EM%20c3%8dLIO%20VIEIRA%20DA%20SILVA.pdf?sequence=1&isAllowed=yull>. Acesso em: 22 abr. 2025.

SILVA, H. V. **Efeito do estresse hídrico na produção de compostos bioativos de *Sarcocornia ambigua* em sistema aquapônico com *Litopenaeus vannamei***. 2016. 59 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) — Programa de Pós-graduação em Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SILVA, R. F. da; BARROS, T. L.; GOMES, A. C. **Aquaponia como alternativa sustentável para regiões com escassez hídrica: uma revisão sistemática**. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, v. 16, n. 3, p. 200–215, 2022.

SOMERVILLE, C. *et al.* **Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2014.

SOUZA, E. F. *et al.* **Agricultura familiar e aquaponia: experiências no contexto do semiárido nordestino**. *Revista Agroecossistemas*, v. 10, n. 1, p. 100–110, 2018.

SOUZA, R. T. Y. B. **Aquaponia: uma ferramenta didática para formação inicial e continuada de professores de ciências**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos) – Universidade Federal do Amazonas, Itacoatiara, 2018.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC). **Habilidades e Competências**. Fortaleza: UFC, [2024]. Disponível em: <https://engenhariadepesca.ufc.br/pt/habilidade-e-competencias/>. Acesso em: 18 ago. 2025.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE (UFS). **Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Pesca**. São Cristóvão: UFS, 2016. Disponível em: <https://www.sigaa.ufs.br/sigaa/verProducao?idProducao=841189&key=aeae0a3ab6657e7b3f7baeb2a3249154>. Acesso em: 18 ago. 2025.

WIRZA, R.; NAZIR, S. **Urban aquaponics farming and cities – a systematic literature review**. *Reviews on Environmental Health*, Berlin/Boston, v. 36, n. 1, p. 47–61, 2021. DOI: 10.1515/reveh-2020-0064.

YANG, Z. *et al.* **A review of the toxic effects of ammonia on invertebrates in aquatic environments**. *Environmental Pollution*, v. 336, p. 122374, 2023.

YEP, B.; ZHENG, Y. **Aquaponic trends and challenges – a review**. *Journal of Cleaner Production*, [S.l.], v. 228, p. 1586–1599, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.290>. Acesso em: 6 jul. 2025.

YILDIZ, H. Y. *et al.* **Current status and prospects of aquaponics for sustainable food production in Turkey.** *Aquaculture Reports*, v. 19, 2021. DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100602.