



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA-UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E RECURSOS AQUÁTICOS
TROPICAIS-PPGAQRAT

GABRIEL RODRIGUES SANTOS

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE AQUAPONIA COM CAMARÃO DA AMAZÔNIA
(*Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862) NO CULTIVO DE MUDAS DE ALFACE
(*Lactuca sativa* L.) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES NUTRITIVAS**

BELÉM

2020

GABRIEL RODRIGUES SANTOS

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE AQUAPONIA COM CAMARÃO DA AMAZÔNIA
(*Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862) NO CULTIVO DE MUDAS DE ALFACE
(*Lactuca sativa* L.) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES NUTRITIVAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais: área de concentração Aquicultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Glauber David Almeida Palheta.

Co-Orientadora: Prof^a Dr^a Mônica Trindade Abreu de Gusmão.

BELÉM

2020

GABRIEL RODRIGUES SANTOS

**AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE AQUAPONIA COM CAMARÃO DA AMAZÔNIA
(*Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862) NO CULTIVO DE MUDAS DE ALFACE
(*Lactuca sativa* L.) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES NUTRITIVAS**

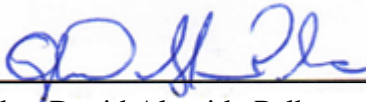
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do Programa de pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Glauber David Almeida Palheta


Co - orientadora: Prof^ª Dr^ª. Mônica Trindade Abreu de Gusmão

Aprovada em: 31 /08/ 2020

BANCA EXAMINADORA



Dr. Glauber David Almeida Palheta – Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA



Dr^ª. Mônica Trindade Abreu de Gusmão – Co-orientadora
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA



Dr. Fábio Carneiro Sterzelecki
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA



Dr. Rodrigo Takata
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA



Dr. Ronald Kennedy Luz
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS - UFMG

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que amo e sempre amarei, o meu muito obrigado pelo apoio, compreensão e amor que me deram para seguir em frente nas minhas conquistas, nas minhas realizações e nos meus objetivos acadêmicos.

À Universidade Federal Rural da Amazônia e ao seu corpo docente, por ser responsável pela realização dessa pós graduação, mostrando a verdadeira importância do curso de Agronomia e Engenharia de Pesca para a sociedade.

A minha família aos grandes momentos de incentivos que foram proporcionados para a conclusão da pós graduação.

A todos meus amigos do laboratório os grandes colaboradores responsáveis pelo desenvolvimento do projeto (Juvenal, Rafael, Luiz, Alex, Jésus, Matheus, Savio, Thayane, Rayane, Joane).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Glauber David Almeida Palheta, e minha co-orientadora, Prof^a. Dr. Mônica Trindade Abreu de Gusmão da Universidade Federal Rural da Amazônia, pela orientação, apoio, estímulo, respeito e competência na elaboração na dissertação do mestrado.

Aos meus amigos da Horta da Universidade Federal Rural da Amazônia, e ao Prof. Dr. Fábio Carneio Sterzelecki, por toda ajuda na elaboração do projeto e a conclusão da dissertação.

Ao Prof. Dr. Nuno Filipe Alves Correia de Melo, pelos os recursos conquistados na pesquisa, e a Prof^a. Dr. Maria de Lourdes e aos alunos do Laboratório de Qualidade de Água pelas coletas e análises dos efluentes.

Agradecimentos especiais a minha protetora mãe, Neliana Lobo Rodrigues, aos meus avôs, Lídia Silva Rodrigues e Antonino Rodrigues, pelos incansáveis incentivos e apoio que me proporcionaram durante toda minha vida.

À todos aqueles que influenciaram direta ou indiretamente na realização desse trabalho e na luta pelos meus sonhos.

Dedico.

“No fim tudo dá certo, e se não deu certo é porque ainda não chegou ao fim”

Fernando Sabino.

LISTA DA SIGLAS

UFRA: Universidade Federal Rural da Amazônia

INMET: Instituto Nacional de Meteorologia

MFT: Massa fresca total

MFPA: Massa fresca da parte aérea

MFR: Massa fresca de raiz

MST: Massa seca total

MSPA: Massa seca da parte aérea

MSR: Massa seca de raiz

CT: Comprimento total

CPA: Comprimento da parte aérea

CR: Comprimento das raízes

AP: Altura da planta

NF: Número de folhas

CE: Condutividade elétrica

RESUMO

A aquaponia é uma técnica que permite de forma integrada a combinação de um sistema de recirculação de água associada à hidroponia. Trata-se de uma modalidade de cultivo de alimento em que há a interação de duas espécies comerciais, uma de origem animal e a outra de origem vegetal. O objetivo desse trabalho foi avaliar o desenvolvimento de mudas de alface em sistema aquapônico elaborado com efluentes da carcinicultura de água doce de *Macrobrachium amazonicum* em diferentes concentrações nutritivas. O experimento foi realizado na Universidade Federal Rural da Amazônia, UFRA, Belém, Pará, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), utilizando-se a cultivar de alface Veneranda e quatro concentrações nutritivas (0%, 20%, 46% e 100%), com três repetições. Foram monitorados dados meteorológicos no interior e exterior do ambiente protegido, assim como, os dados de amostragem para análise de água. Foram mensurados os dados morfométricos, zootécnicos e o desempenho produtivo do camarão. Para as plantas foram mensuradas as características de crescimento da cultura de mudas de alface a altura, o número de folhas, a matéria fresca e seca, assim como o comprimento das mudas. Os resultados para os animais observaram que os tratamentos com efluentes da carcinicultura com 20% de nutrientes comerciais apresentaram melhores desempenhos para o comprimento, peso final e ganho de peso, enquanto para o tratamento com 0% de nutrientes comerciais apresentou melhor desempenho somente para taxa de sobrevivência. Para as plantas os tratamentos com efluentes da carcinicultura com 100% e 20% de solução comercial apresentaram os melhores resultados para massa fresca total, da parte aérea, massa seca total e comprimento parte aérea, respectivamente, comparando com os tratamentos com 0% nutrientes comerciais apresentou o desempenho inferior aos demais. Conclui-se que os tratamentos com 100% e 20% de solução nutritiva apresentaram os melhores resultados para crescimento das mudas de alface, suprimindo as carências nutricionais do vegetal, sem comprometer o desenvolvimento da planta e do animal.

Palavras-chave: *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862). *Lactuca sativa* L. Cultivo sem solo. Minerais.

ABSTRACT

Aquaponics is an integrated technique that allows the combination of a water recirculation system associated with hydroponics. It is a modality of food cultivation in which there is the interaction of two commercial species, one of animal origin and the other of vegetable origin. The objective of this work was to evaluate the development of lettuce seedlings in an aquaponic system made with effluents from freshwater shrimp farming of *Macrobrachium amazonicum* in different nutrient concentrations. The experiment was carried out at the Federal Rural University of Amazonia, UFRA, Belém, Pará, in a completely randomized design (DIC), using the Veneranda lettuce cultivar and four nutritive concentrations (0%, 20%, 46% and 100%) , with three repetitions. Meteorological data were monitored inside and outside the protected environment, as well as sampling data for water analysis. Morphometric, zootechnical data and the productive performance of the shrimp were measured. For plants, the growth characteristics of lettuce seedlings were measured by height, number of leaves, fresh and dry matter, as well as the length of seedlings. The results for the animals observed that the treatments with effluents from shrimp farming with 20% of commercial nutrients showed better performances for length, final weight and weight gain, while for the treatment with 0% of commercial nutrients, it presented better performance only for survival. For plants, treatments with effluents from shrimp farming with 100% and 20% commercial solution showed the best results for total fresh weight, aerial part, total dry mass and aerial part length, respectively, compared to treatments with 0% commercial nutrients performed less than the others. It was concluded that the treatments with 100% and 20% of nutrient solution showed the best results for the growth of lettuce seedlings, supplying the nutritional deficiencies of the vegetable, without compromising the plant and animal development.

Keywords: *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862). *Lactuca sativa* L. Cultivation without soil. Minerals.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1 – CONTEXTUALIZAÇÃO

Figura 1 – Esquema de interação entre os componentes biológicos de um sistema de aquaponia.....	20
Figura 2 – Aquaponia em pequena escala no Brasil.....	23
Figura 3 – Aquaponia em escala comercial.....	23
Figura 4 – Tipos de aquaponia (esquerda para direita: <i>floating</i> , substrato semi-seco e NFT).....	27

**CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE AQUAPONIA COM CAMARÃO DA
AMAZÔNIA (*Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862) NO CULTIVO DE MUDAS
DE ALFACE (*Lactuca sativa* L.) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES
NUTRITIVAS**

Figura 1 – Componentes da estufa adotado na aquaponia. UFRA, Belém, Pará, 2020.....43

Figura 2 – Altura da planta (AP) em cm, de mudas de alface submetida em sistema aquapônico com efluentes da carcinicultura de água doce em diferentes concentrações nutritivas (0%,20%,46% e 100%), aos 7, 14 e 18 dias após a emergência. UFRA, Campus Belém, Pará, 2020.....49

Figura 3 – Número de folhas (NF) de mudas de alface submetida em sistema aquapônico com efluentes da carcinicultura de água doce em diferentes concentrações nutritivas (0%,20%,46% e 100%), aos 7, 14 e 18 dias após a emergência. UFRA, Campus Belém, Pará, 2020.....49

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE AQUAPONIA COM CAMARÃO DA AMAZÔNIA (*Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862) NO CULTIVO DE MUDAS DE ALFACE (*Lactuca sativa* L.) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES NUTRITIVAS

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos utilizados no experimento de aquaponia. UFRA, Belém, Pará, 2020.....	43
Tabela 2 – Solução da Hidrogood Fert NPK (10-09-28) [®] e Hidrogood Fert Nitrato de Cálcio [®] diluídas para o cultivo de mudas de alface em sistema <i>floating</i>	44
Tabela 3. Parâmetros agrometeorológicos, temperatura e umidade relativa máxima e mínima do ar medidos em ambiente protegido (T máx AP, T mín AP, UR máx AP, UR mín AP) e na estação meteorológica (T máx AE, T mín AE, UR máx AE, UR mín AE). UFRA, Belém, Pará, 2020.....	45
Tabela 4 – Médias dos parâmetros de qualidade dos efluentes no tanque de criação do camarão (TQ) e no biofiltro (BF) em sistema aquapônico com efluentes da carcinicultura de água doce em diferentes concentrações nutritivas (0%, 20%, 46% e 100% de nutrientes comerciais). UFRA, Belém, Pará, 2020.	47
Tabela 5 – Parâmetros produtivos dos camarões cultivados em sistema aquapônico com efluentes da carcinicultura de água doce em diferentes concentrações nutritivas (0%, 20%, 46% e 100% de nutrientes comerciais). UFRA, Belém, Pará, 2020.....	47
Tabela 6 – Massa fresca total, massa fresca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca total em (g planta ⁻¹), comprimento total (CT), comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR) em cm, em sistema aquapônico com efluentes da carcinicultura de água doce em diferentes concentrações nutritivas (0%, 20%, 46% e 100% de nutrientes comerciais). UFRA, Belém, Pará, 2020.....	48

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – Contextualização	14
1 INTRODUÇÃO GERAL	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Aquicultura	17
2.2 Aquaponia	20
2.2.1 Animais e plantas mais utilizados em aquaponia.....	24
2.2.2 Os efluentes da aquicultura.....	25
2.2.3 Os componentes da aquaponia.....	26
2.3 <i>Macrobrachium amazonicum</i> Heller (1862)	28
2.4 <i>Lactuca sativa</i> Lineu	29
2.4.1 Produção de mudas.....	29
REFERÊNCIAS	31
CAPÍTULO II – Avaliação do sistema de aquaponia com camarão da amazônia (<i>Macrobrachium amazonicum</i> Heller, 1862) no cultivo de mudas de alface (<i>Lactuca sativa</i> L.) em diferentes concentrações nutritivas	39
Resumo	40
Abstract	40
Introdução	41
Materiais e métodos	41
Implantação do experimento	42
Ambiente protegido.....	42
Tanques dos animais.....	42
Bancada de produção de mudas.....	42
Reservatórios de decantação e de filtragem.....	42
Sistema de aeração.....	42
Tratamentos e desenho experimental	43
Coleta de dados	44
Parâmetros meteorológicos.....	44
Amostragem para análise dos efluentes.....	45
Dados dos animais.....	45
Dados morfométricos dos animais.....	45
Dados zootécnicos dos animais.....	45

Desempenho produtivo dos animais.....	45
Dados das plantas.....	46
Altura e número de folhas das plantas.....	46
Massa fresca (total, parte aérea e raiz) e massa seca total.....	46
Comprimento total, da parte aérea e raiz.....	46
Resultados	46
Avaliação dos elementos de qualidade dos efluentes.....	46
Características avaliadas dos animais.....	47
Características avaliadas das plantas.....	47
Discussão	50
Conclusão	52
Referências	52

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A estrutura da dissertação está organizada em dois capítulos, sendo o primeiro composto pela contextualização geral da problemática e o segundo contendo o artigo que foi redigido de acordo com as normas da revista “Aquaculture International” ISSN 0967-6120.

No primeiro capítulo são descritas as características gerais do sistema de aquaponia, seguida de uma revisão de literatura sobre: características e importância da aquicultura e da hidroponia; os animais e plantas mais utilizadas; os efluentes da aquicultura; os componentes presente no cultivo; a espécie do animal; a espécie vegetal; produção de mudas.

No segundo capítulo apresenta-se o artigo sobre “Avaliação do sistema de aquaponia com efluentes da criação de camarão da amazônia (*Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862) no cultivo de mudas de alface (*Lactuca sativa* L.)”. No final são apresentadas as considerações finais do trabalho.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZAÇÃO

*Padronizado de acordo com as normas da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)*

1 INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura brasileira se desenvolveu de maneira notável desde a década de 1960. O surgimento de políticas públicas foram responsáveis pela construção de um modelo institucional como importante fator para criação de tecnologias voltadas para o aumento da produção agropecuária (VIEIRA FILHO; FISHLOW, 2017).

O aumento da população mundial destaca-se como uns dos principais entraves na manutenção dos alimentos no mundo, pois o aumento da poluição e a diminuição dos recursos naturais, proporciona impactos ao meio ambiente, tornando elementos como água e os nutrientes cada vez mais escassos na natureza, conseqüentemente, levando a redução na produção (MANCOSU et al. 2015; DIJKGRAAF; GODDEK; KESSMAN, 2019).

A aquicultura é uma atividade agropecuária que mais cresce no mundo, produzindo importantes fontes de proteínas para o consumo humano (FAO, 2018). É uma atividade que engloba o cultivo de organismos aquáticos tanto de água doce quanto de água salgada, geralmente, em um espaço confinado e controlado durante todo o processo produtivo (BUSH et al. 2019). Dentre os ramos mais desenvolvidos na aquicultura, temos a produção de peixes (piscicultura), a criação de camarões (carcinicultura), a criação de moluscos (malacocultura) e a criação de algas (algicultura) (BRABO et al. 2016).

Em termos gerais, a tendência é que com o crescimento da aquicultura nos próximos anos seja responsável por suprir a maior parte da demanda global de pescado (FAO, 2018). Com isso, têm-se observado nas últimas décadas o desenvolvimento de novas técnicas de produção na aquicultura, destacando com uma atividade competitiva e sustentável, com ganhos significativos na produtividade e no fornecimento de proteína animal de qualidade (SOLIMAN; YACOUT, 2016; KASSAM; DORWARD, 2017; SAMERWONG; BUSH; OOSTERVEER, 2018).

Portanto, a necessidade de encontrar métodos de sistemas de tratamento natural de efluentes na aquicultura que acompanhem o crescimento da atividade, e que sejam de baixo custo de produção e de fácil acesso, reduzindo a dependência sobre os recursos naturais, fez com que surgisse uma proposta sustentável de produção de alimentos, através da criação de tecnologias voltadas para a preservação do meio ambiente, do uso da água e da segurança alimentar (GODDEK et al. 2015; ENDUT et al. 2016).

Nesse contexto, a aquaponia agrega uma tecnologia de produção de alimentos inovadora, ecológica e sustentável, através da produção de alimentos e a da associação de práticas de aquicultura e hidroponia em um único sistema de recirculação de soluções composto

por nutrientes de excrementos animais e de nutrientes químicos, permitindo que as plantas e animais utilizem esses resíduos, possibilitando o surgimento de produtos de melhor qualidade, de maior rentabilidade e de menor custo de produção no mercado consumidor (ENDUT et al. 2016; LI et al. 2018).

Para compor o sistema foi utilizada espécie de camarão *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862), natural das regiões Norte e Nordeste do Brasil. São animais nativos de fácil reprodução e desenvolvimento em cativeiro, apresentando grande rusticidade e uma boa aceitação no mercado (VALENTI; FERREIRA; FERREIRA, 2009). Além de ser, uma atividade agropecuária que têm o potencial de fornecer fontes de nutrientes para as hortaliças (MARQUES et al. 2016).

Para a espécie vegetal, utilizou-se espécie de alface *Lactuca sativa* L., por ser uma das hortaliças mais produzidas nos ambientes de cultivos hidropônicos (COMETTI; GALON; BREMENKAMP, 2019). São plantas de maior demanda no Brasil e no mundo, pela sua facilidade de cultivo e maior aceitação na mesa do consumidor, fornecendo nutrientes essenciais à saúde humana, devido apresentar altos teores de vitaminas e minerais na dieta alimentar (SAPKOTA; SAPKOTA; LIU, 2019).

Dessa forma, o objetivo do projeto foi avaliar a engorda de camarões e o desenvolvimento de mudas de alface em sistema aquapônico elaborado com efluentes da carcinicultura de água doce e com diferentes concentrações nutritivas comerciais hidropônicas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aquicultura

A aquicultura é definida pelo Ministério da Pesca e Aquicultura como técnicas de cultivo e reprodução de organismos aquáticos, entre os quais se destacam a piscicultura, a carcinicultura, a malacocultura e a algicultura, cujo ciclo de vida em condições naturais se dá total ou parcialmente em meio aquático (MPA, 2013). São atividades mais desenvolvidas da aquicultura brasileira, baseadas principalmente em espécies exóticas ou não exóticas ou não nativas, praticadas em diversos ambientes, modalidades e estratégias de produção (Brabo et al. 2016).

Nas últimas décadas, com o desenvolvimento de novas técnicas de produção no setor, a aquicultura destacou-se com uma atividade ecológica, com ganhos na qualidade produtiva, contribuindo, assim, na segurança alimentar, e na geração de emprego e renda para regiões menos desenvolvidas do mundo, tais como a Ásia, a África e a América Latina (SOLIMAN; YACOUT, 2016; KASSAM; DORWARD, 2017).

Segundo relatório *The State of World Fisheries and Aquaculture*, em 2016 foram produzidas pela indústria aquícola mundial, incluindo plantas aquáticas, cerca de 110,2 milhões de toneladas. O grupo mais produzido foram os peixes (54,1 milhões de toneladas), seguido de algas (30,1 milhões de toneladas), moluscos (17,1 milhões de toneladas) e crustáceos (7,9 milhões de toneladas) (FAO, 2018).

No Brasil a aquicultura de água doce predomina em relação a de água salgada, devido a intensa produção aquícola em lagos de reservatórios com cultivo de tilápia, e em viveiros escavados com cultivo de tilápia, tambaqui, pirarucu, carpa e pacu (MPA, 2013).

Estima-se que no ano de 2018 a produção mundial do pescado foi de aproximadamente 170,9 milhões de toneladas, tendo a atividade da pesca estabilizando na produção em 90 milhões de toneladas, enquanto a aquicultura apresentou uma crescente em 80 milhões de toneladas pela produção de pescado. Desse modo, a tendência é que nos próximos anos a aquicultura seja responsável por suprir a maior parte da demanda global por pescado (FAO, 2018).

No Brasil, por exemplo, nota-se que no ano de 2016, a aquicultura brasileira atingiu um valor de produção de R\$ 4,1 bilhões, com a maior parte de sua produção voltada para a criação de peixes, com uma produção de 507,12 mil toneladas ao ano (70,9%) (IBGE, 2016).

Na região norte predomina a carcinicultura marinha desenvolvida exclusivamente em viveiros escavados, tendo dois e três empreendimentos instalados nos municípios de Salinópolis

e Curuçá, respectivamente. A única espécie produzida é camarão branco do Pacífico ou camarão cinza *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), mas já existem estudos com espécies nativas, como o camarão branco do Atlântico *Litopennaeus schimitti* (Burkenroad, 1936), e os camarões rosa *Farfantepenaeus subtilis* (Peréz Farfante, 1967) e *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817) (BRABO et al. 2016; MPA, 2013; PALHETA, 2013).

A cultura camarão de água doce apresenta as mesmas limitações que o cultivo das outras espécies no Brasil, que a maior delas está no fornecimento de formas jovens. Dessa forma, a larvicultura é um entrave para consolidação da cadeia produtiva do camarão de água doce no País, apesar de ser dominada tecnologicamente, há a dificuldade de se manter no mercado, pois dependem da engorda, das oscilações dos preços e alta mortalidade (IBGE, 2016).

Recentemente, o cultivo de camarão em água doce, especialmente, o *M. amazonicum* (Heller, 1862), tornou-se um importante contribuinte para aquicultura, tanto com relação ampla *exploração* pesqueira na região amazônica, em virtude e da abundância e boa aceitação no mercado consumidor (MARQUES; MORAES-VALENTI, 2012; ARAUJO; VALENTI, 2017). Rocha (2010), avaliou um estudo caracterizando a fecundidade e fertilidade de *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) em dois ambientes estuarinos no Estado do Pará, constatou-se que os ambientes podem fornecer matrizes potenciais para aquicultura.

A expansão da aquicultura proporcionou a intensificação dos sistemas de produção, visando ao aumento da produtividade, sem a preocupação com a biossegurança dos cultivos, sem regulamentação e conseqüentemente gerando grandes impactos ambientais (EDWARDS, 2015). Estudos apontaram que esses efluentes da aquicultura, sem um tratamento prévio de despejo, alteram a concentração de nutrientes nos ecossistemas receptivos, modificando o estado trófico, causando sérios problemas aos ecossistemas aquáticos (ENDUT et al. 2016).

Diante deste quadro, os novos ramos dos setores aquícolas precisam reconhecer e abordar todo o aparato sobre as questões ambientais e sociais que foram gerados pelo mal uso da atividade. Para isso, é necessário a utilização de métodos para o melhor aproveitamento dos nutrientes gerados pelo sistema, como uma forma de ciclagem e fonte de energia desses nutrientes, reduzindo sua dependência sob os recursos naturais (KIMPARA; ZADJAND; VALENTI, 2012).

Partindo dessa premissa, é fundamental o desenvolvimento de sistemas aquícolas com bases sustentáveis que permitam uma produção aquícola com geração de efluentes em níveis aceitáveis ambientalmente (SILVA MOURA; LOSEKANN; HISANO, 2013). Dentre o

sistema, como a forma de utilização da água, o principal é o fechado, que englobam técnicas de recirculação de água com tratamento prévio do efluente (RIJIN, 2013).

No Brasil, a classificação mais comum para essa definição se divide em função da produtividade, como sistemas em extensivos ou de baixa produtividade por metro quadrado, e em sistemas semi-intensivos e intensivos que possuem altas densidades de estocagem, e normalmente também são mais tecnificados e apresentam o uso de ração (SOLIMAN; YACOUT, 2016).

Para alguns autores, pode-se aplicar a classificação de sistemas de cultivo para mais que uma finalidade, como é o caso dos sistemas de recirculação de água (SRA) e da aquicultura com produção voltada para alimentos de origem vegetal ou animal, através de sistemas aquapônicos (JENA; BISWAS; SAHA, 2017).

Os sistemas de recirculação de água (SRA) são considerados na cadeia da aquicultura como intensivos e fechados, que permitem um elevado nível de controle do seu ambiente, maximizando a reutilização da água, através de tratamentos que incluem a remoção de sólidos, a biofiltração, o balanceamento de gases, a oxigenação e a desinfecção da água dos tanques (SILVA MOURA; LOSEKANN; HISANO, 2013; NUWANSI et al. 2017).

Na aquaponia os efluentes ricos em nutrientes da aquicultura são utilizados para o cultivo de vegetais hidropônicos. Por sua vez, as plantas e as rizobactérias removem a amônia, o nitrato, o nitrito e o fósforo da água antes de ser retornado de volta para os tanques de cultivo (MARQUES et al. 2016). Essa técnica é vista em trabalhos que englobam o cultivo de organismos aquáticos tanto de água doce quanto de água salgada, sendo que grande parte das espécies estudadas são de peixes como tilápia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) e tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818) e camarão (*Macrobrachium rosenbergii* Man, 1879; *Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862) (CORTEZ et al. 2009; FITZSIMMONS, 2013; SACE; FITZSIMMONS, 2013; LIMA et al. 2019).

Dessa forma, os camarões de água doce do gênero *Macrobrachium* são excelentes opções de integração nesse sistema, pois são considerados animais onívoros, que podem, portanto, tirar proveito de uma ampla variedade de resíduos alimentares, de espécies aquáticas ou terrestres (IBRAHIM, 2016). Além disso, devido seu hábito bentônico, apresentam uma distribuição espacial bem definida no ambiente, favorecendo a sua interação com várias outras espécies de peixes, assim como, outros animais e até plantas (MARQUES et al. 2016).

2.2 Aquaponia

Um dos primeiros povos a desenvolver a aquaponia em *Chinampas*, foram os Astecas, no México cerca de 1.000 anos AC, utilizando jangadas com material flutuante sobre os lagos nas quais as plantas cresciam, e as suas raízes retiravam os nutrientes dessas águas (RAKOCY, 2012).

A aquaponia surge como uma modalidade de cultivo de alimento com alto aproveitamento dos resíduos orgânicos produzidos na aquicultura (MONSEES et al. 2019). É um sistema moderno de produção, que combina o cultivo de organismos aquáticos e o cultivo de plantas sem o uso do solo juntos simbioticamente de forma equilibrada em ambiente de recirculação de água, com benefícios mútuos (PALM et al. 2019). Consiste num cultivo integrado em que há interação de duas espécies comerciais, uma de origem animal e a outra de origem vegetal (LOVE et al. 2014).

Na aquaponia (Figura 1), existem três componentes biológicos principais, entre eles, os animais, as plantas e as bactérias. E um dos nutrientes mais importantes para todos os três é o nitrogênio (GODDEK et al. 2016). Uma das fontes de nitrogênio na aquaponia é o alimento fornecido ao animal através de sua alimentação. Esses animais acabam digerindo a proteína da ração e excretam seus resíduos em forma de amônia por meio de suas vias branquiais e das fezes. Mas também, a amônia pode entrar no sistema a partir da decomposição bacteriana dos alimentos que não foram consumidos, ou pela presença de algas ou animais em estágio de putrefação (RU et al. 2017).

Figura 1. Esquema de interação entre os componentes biológicos de um sistema de aquaponia.



Embora na aquaponia o acúmulo de amônia seja tóxico para os animais, é através da ação das bactérias nitrificantes e das plantas hidropônicas que vivem no sistema, que há filtragem e remoção das concentrações dos resíduos nitrogenados, como amônia, nitrato, nitrito e, o fósforo dissolvidos no ambiente aquático, para que a água limpa possa ser retornada para os tanques de criação (BUZBY; LIN, 2014; SUHL et al. 2016). Essas bactérias convertem amônia primeiramente em nitrito e, depois em nitrato por nitrificação, onde seria usado como fertilizante líquido para o crescimento das plantas, mas pequena parte desse nitrato poderia ser reduzida também em nitrogênio gasoso por desnitrificação (JENA; BISWAS; SAHA, 2017).

Para alguns autores, as principais vantagens da aquaponia está voltada para um sistema menos impactante ao meio ambiente, aproveitando os resíduos de forma apropriada dos organismos aquáticos, afim de fornecer uma água de qualidade aos tanques de produção, possibilitando o surgimento de alimentos de melhor qualidade nutricional e de maior rentabilidade de produção no mercado consumidor (JOLY; JUNGE; BARDOCZ, 2015; ENDUT et al. 2016). A reutilização de água é mínima, evitando seu desperdício, e reduzindo ou até eliminando a descarga de efluentes que seriam direcionados para o meio natural (MARQUES et al. 2016). Isso faz com que alguns autores afirmem que o volume de água gasto em aquaponia seja menor que o volume de água em sistemas tradicionais de agricultura e aquicultura (JENA; BISWAS; SAHA, 2017).

Estudos indicam que a hidroponia convencional requer o uso de fertilizantes minerais para suprir as necessidades das plantas como nutrientes, enquanto o sistema de aquaponia utilizam os nutrientes advindo da criação de peixes que é rico em resíduos orgânicos importante para o crescimento dos vegetais (GODDEK et al. 2015).

Apesar da aquicultura e hidroponia serem práticas de produção de alimentos com estudos realizados há mais de 50 anos, somente na segunda metade do século XX apresentaram resultados considerados satisfatórios para a ciência, tornando uma atividade ambientalmente sustentável (MARTINS, 2017).

Portanto, as informações sobre aquaponia no cenário mundial tem avançado satisfatoriamente, enquanto nível brasileiro é escassa no que se refere às informações desse sistema, com algumas publicações como as de: Cortez et al. (2009), que avaliaram a associação do cultivo de alface (*L. sativa* L.) em hidroponia com a utilização dos resíduos do sistema de criação intensiva de matrinxã (*Brycon cephalus* Gunther, 1864), foi observado que a presença da maioria dos nutrientes minerais necessários ao desenvolvimento do vegetal, em concentrações próximas aos valores encontrados em soluções nutritivas utilizadas para o cultivo

da alface em hidroponia, exceto potássio e magnésio. Castellani et al. (2009), avaliaram um sistema de aproveitamento de água de viveiros de berçários de camarão da amazônia (*M. amazonicum* Heller, 1862) para o cultivo hidropônico de agrião (*Rorippa nasturtium aquaticum* L.) e alface (*Lactuca sativa* L.), notaram que a integração das atividades foi suficiente para atender a demanda por nutrientes somente do agrião, obtendo plantas com maiores massas quando suplementadas com nutrientes comerciais. Hundley; Navarro (2013), verificaram os efeitos diferentes densidades de estocagem de tilápias (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) sob uma taxa de alimentação diária para o cultivo de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) e manjerona (*Origanum majorana* L.), observaram que a medida que a densidade de peixes aumenta, consequentemente aumenta a entrada de nutrientes no efluente, beneficiando o rendimento das plantas com seu ganho de peso.

No mundo, os grandes difusores da aquaponia são atribuídos aos pesquisadores da Universidade das Ilhas Virgens Americanas, em especial ao James Rakocy, que em 1970 já testavam plantas com filtros naturais para os efluentes da piscicultura, sendo até hoje uma referência no desenvolvimento da aquaponia em sistema UVI (*University of Virgin Islands*), além dos cálculos que maximizam a produção e o equilíbrio do sistema (LOVE; UHL; GENELLO, 2015). Entre eles, os australianos Joel Malcom e Murray Hallam destacaram-se também como um dos grandes difusores da aquaponia, com trabalhos voltados para sistemas de pequena escala, além de apresentar o empreendimento como um negócio “hobby” (BERNSTEIN, 2011).

O sistema de aquaponia pode ser classificado em duas escalas: a residencial (pequena escala) (DELAIDE et al. 2017) e a comercial (grande escala) (BAILEY; FERRAREZI, 2017). A residencial é voltada para uma pequena produção, baixo custo de implementação, construídos com os mais variados materiais e cultivando espécies de plantas e peixes adaptadas a cada região do país, além de ser uma ferramenta educacional nas escolas e nas universidades, como fonte facilitadora de ensino para agregar a educação ao meio ambiente (SIMEONIDON et al. 2012; JUNGE; WILHELM; HOFSTETTER, 2014; SOMERVILLE et al. 2014). A sua utilização abrange uma ampla variedade de assuntos, incluindo agricultura, biologia, engenharia, nutrição, química e tecnologia (GENELLO et al. 2015) (Figura 2).

Figura 2. Aquaponia em pequena escala no Brasil.



Fonte: Autores, 2020.

A comercial é conhecida como uma atividade de média ou grande escala, cuja estruturas são bem maiores, com o volume de produção maior, e um custo de implantação elevado (GODDEK et al. 2015). A produção está voltada diretamente às exigências do mercado, a sua demanda e ao público alvo que se deseja alcançar, a fim de repassar uma imagem sustentável do produtor ofertado, visando o lucro (TOKUNAGA et al. 2015) (Figura 3).

Figura 3. Aquaponia em escala comercial.



Fonte: *Aquaculture* Brasil (2016).

2.2.1 Animais e plantas mais utilizados em aquaponia

Ao projetar a capacidade de suporte de um sistema de aquaponia é necessário ter conhecimento sobre a densidade de estocagem dos animais nos tanques e o manejo adequado ao sistema, que são os limitadores para a definição das espécies aquáticas a serem utilizadas (HUNDLEY; NAVARRO, 2013).

Dentre as espécies tolerantes a essas características temos o matrinxã (*Brycon cephalus* Gunther, 1864) (CORTEZ et al. 2009), pacu (*Piaractus mesopotamicus* Holmberg, 1887) (PINHO et al. 2018), carpa comum (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) (SHETE et al. 2016), tilápia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) (RAFIEE et al. 2019), tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818) (FRANCHINI, 2019), e o camarão-da-amazônia (*Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862) com literatura científica brasileira típica de regiões do Norte e Nordeste do Brasil, com destaque para os estados do Pará e Amapá (LIMA et al. 2019; MARQUES et al. 2012;).

O camarão é um animal de grande interesse de estudo para muitos autores, inclusive por ser uma espécie de água doce presente no rio Amazonas e, amplamente distribuído ao longo dos rios brasileiros, sendo uma das espécies nativas com maior potencial de cultivo (MARQUES et al. 2012).

Em relação às espécies de plantas a serem cultivadas, é possível desenhar um sistema de aquaponia capaz de produzir, teoricamente, qualquer vegetal de pequeno e médio porte. Basicamente o desenho do sistema deve observar as necessidades e as limitações das plantas relacionadas a espaço, a nutrição, a aeração, a temperatura e a radiação solar (HUNDLEY; NAVARRO, 2013).

Portanto, nos sistemas aquapônicos, muitas espécies de plantas são bem adaptadas, como a alface, ervas e verduras especiais (espinafre, cebolinha, manjericão e agrião), entre outras (NHAN et al. 2019). Essas espécies vegetais adaptadas à hidroponia são sempre recomendadas na aquaponia, uma vez que a maioria delas toleram altos teores de água em suas raízes, e significativas variações nas concentrações de nutrientes dissolvidos na solução nutritiva sem apresentar sintomas de deficiência nutricional e têm o crescimento ótimo entre pH de 5,8 e 6,2 (RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2016).

Dentre todas essas espécies de vegetais, a alface é uma hortaliça bastante utilizada em sistema de aquaponia, devido ter se adaptado muito bem, além de ser um vegetal de ciclo curto (JORDAN et al. 2018).

Dessa forma, a quantidade de plantas a ser utilizada está diretamente relacionada à densidade de peixes estocada no sistema, o que por sua vez eleva a carga de resíduos gerados (sobras de alimento ofertado, subprodutos metabólicos como fezes e urina) em proporções equivalentes com nutrientes necessários para as plantas (RAHMATULLAH; DAS; RAHMATULLAH, 2010; ANDRIANI et al. 2017; DA ROS, 2017).

Uma das formas de estimar a proporção de animais e plantas no sistema de aquaponia, se dá através da avaliação da quantidade de ração ofertada diariamente aos animais, no volume de 60 a 100 gramas de ração de animal por dia para cada metro de canteiro de hidroponia. Nesse caso, 60 g de ração dia^{-1} deve ser considerado para o cultivo de um metro quadrado de vegetais menos exigentes como alface e outras folhosas (RAKOCY, 2012).

2.2.2 Os efluentes da aquicultura

Os principais impactos dos efluentes nas atividades de aquicultura sobre os ecossistemas aquáticos são: o aumento das concentrações de nutrientes na coluna d' água e o acúmulo de matéria orgânica nos sedimentos (RIJN, 2013). Esses materiais podem ser apresentados tanto na forma particulada como dissolvidos na água. Os materiais particulados são formados por detritos orgânicos, como fezes dos animais, restos de ração não consumida e fertilizantes. Já os materiais solúveis em água, destacam-se como subprodutos inorgânicos excretados pelos animais em sua digestão (MOURA; LOPES; HENRY-SILVA, 2014).

Nesse sentido, os restos de ração não consumida na alimentação, são degradados em nutrientes inorgânicos pela ação dos microrganismos, e convertidos em amônia, fosfato e dióxido de carbono. Entretanto, parte da ração consumida é aproveitada para produção de energia dos animais, enquanto o restante ingerido é excretado na forma de fezes, amônia e dióxido de carbono (SILVA; LOSEKAN; HISANO, 2013).

Portanto, para o bom desenvolvimento dos ambientes de cultivo deve haver controle sobre a água do local de implementação de qualquer empreendimento aquícola, sendo umas das principais etapas do processo, o controle das elevadas concentrações dos materiais orgânicos e de nutrientes nos ambientes de cultivo (MARTINS et al. 2010). A ausência desse controle influenciará diretamente o manejo inadequado dos sistemas produtivos (SILVA; LOSEKAN; HISANO, 2013).

Para minimizar tais impactos na aquicultura é importante criar tecnologias que assegurem as Boas Práticas de Manejo (BMPs) referente ao descarte de efluentes para o ecossistema aquático (BARROS et al. 2020). Essas práticas estão diretamente relacionadas ao

controle da ração na alimentação e ao monitoramento da qualidade da água nos empreendimentos aquícolas, atendendo à legislação vigente, a Resolução CONAMA 357/05 (CONAMA, 2005).

O monitoramento dos parâmetros de qualidade de água deve ser realizado durante toda a fase de cultivo. Para os padrões de exigência dos camarões de água doce, a temperatura deve ser mantida em torno de 25°C, o oxigênio dissolvido na água ter uma concentração mínima aceitável de 3 mg L⁻¹ e o pH deve estar na faixa de 7,0 e 8,0 (VALENTI; FERREIRA; FERREIRA, 2009).

Nozzi et al. (2018), afirmaram que os nutrientes contidos nos efluentes da aquicultura podem ser utilizados para o crescimento de plantas em hidroponia, mas precisam ser completados com aplicação de soluções químicas para fornecer os nutrientes que não estavam disponíveis no cultivo dos animais. Lima et al. (2019), utilizando diferentes densidades *M. amazonicum* (Heller, 1862), com 40, 80 e 120 camarões m⁻², verificaram que as densidades de 80 e 120 camarões m⁻² foram ideais para o desenvolvimento da alface, com produtividade máxima de biomassa na densidade de 120 camarões m⁻², concluindo que a adição de nutrientes, principalmente, cálcio, magnésio e potássio na água é necessária para o crescimento das plantas. Ru et al. (2017), avaliaram que a adição de micro e macronutrientes em sistema aquapônico com a criação de animal e planta apresentou efeitos significativos, com o aumento da produtividade, e sem problemas para a segurança e sanidade alimentar dos animais.

2.2.3 Os componentes da aquaponia

A aquaponia comporta-se basicamente como um sistema de recirculação de água, composto por um tanque de cultivo, um ambiente de cultivo, um componente filtragem de partículas sólidas, um biofiltro e um sistema de aeração (SUHL et al. 2016; BAILEY; FERRAREZI, 2017).

O tanque de cultivo dos animais é considerado um componente essencial do sistema de aquaponia, representando cerca de 20% do custo dessa implementação. Portanto, como os animais necessitam de condições ideais para o seu desenvolvimento e sobrevivência, é necessário avaliar as escolhas dos tanques baseando nos aspectos como forma, materiais e cores, não sendo instrumentos tóxicos aos animais (RAKOCY, 2007).

No ambiente de cultivo as bancadas podem apresentar sistemas: em NFT (*Nutrient Film Technique*) ou Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes, onde são utilizados canaletas de PVC (JORDAN et al. 2018). Em DFT (*Deep Film Technique*) ou Floating, são providos de placas

de poliestireno para suporte das plantas (BAILEY; FERRAREZI, 2017). Em semi seco são cultivos preenchidos com brita, seixo, restos de cerâmica ou argila expandida (LIMA et al. 2019) (Figura 4).

Figura 4. Tipos de aquaponia (esquerda para direita: *floating*, substrato semi-seco e NFT).



Fonte: www.cleversurvivalist.com

A utilização de filtros sólidos é outra ferramenta utilizada no processo, a qual irá evitar o entupimento do sistema separando os restos de rações, os dejetos dos animais, e as colônias mortas de bactérias (BAILEY; FERRAREZI, 2017). O acúmulo desses compostos poderá entupir os tubos, os filtros, as saídas de água e as bombas do sistema. É importante remover os resíduos sólidos pela ação de decantadores, impedindo que as raízes das plantas, como os animais e as bactérias nitrificantes sejam prejudicadas pela deterioração desses compostos, ocasionando perdas de nutrientes e reduções nos teores de oxigênio no sistema (MAUCIERI et al. 2018).

No biofiltro são utilizados superfícies materiais como seixo rolado, argila expandida, brita, telhas coloniais quebradas, entre outros substratos usados para fixação das bactérias *Nitrossomonas* e *Nitrobacter* (JUNGE et al. 2017). Nessa etapa há conversão do composto nitrogenado rico em amônia para nitrito e em seguida transforma-lo em nitrato através do processo de filtragem (PETREA et al. 2013; 2014). São meios amplamente aeróbicos, com pH perto da neutralidade (7 e 7,5) com temperaturas atingindo entre 20 e 28°C, com alcalinidade ótima mínima de 100 mg L⁻¹(RAKOCY, 2012). Desta forma, as plantas no sistema de aquaponia funcionam também como parte dos filtros biológicos (MOYA et al. 2014).

A aeração é uma ferramenta importante em sistemas aquapônicos, que influenciam não apenas os animais, mas também as raízes das plantas e as bactérias nitrificantes do filtro biológico (FERRI; ROCHA; BRAZ FILHO, 2018). O oxigênio é essencial para o crescimento e função celular. Caso não estiver disponível no meio poderá causar algum dano nos corpos de água do sistema. A energia necessária para o crescimento é derivada pelo processo chamado de respiração, que requer oxigênio (LIMA et al. 2019).

2.3 *Macrobrachium amazonicum* Heller (1862)

O *Macrobrachium amazonicum* Heller (1862) é uma espécie natural das regiões Norte e Nordeste do Brasil, sendo conhecido popularmente como camarão canela ou camarão sossego. São animais que pertencem a ordem Decapoda e da família Palaemonidae, evolutivamente mais próximos das lagostas, com os quais apresentam várias semelhanças, inclusive nos hábitos de reprodução (MARQUES; MORAES-VALENTI, 2012).

O gênero *Macrobrachium*, caracterizado pelas fêmeas incubarem os ovos aderidos às extremidades natatórias até a eclosão das larvas. Normalmente seu corpo é incolor ou castanho claro, com 11 a 12 cm de comprimento, habitam água doce e salobra, vivem entocados no fundo dos corpos de água (VALENTI; FERREIRA; FERREIRA, 2009). Em relação ao hábito alimentar, são animais onívoros, podendo, inclusive, praticar o canibalismo, se a disponibilidade de alimentos não for o suficiente (LIMA; GARCIA; SILVA, 2014). Dentre as espécies nativas, o camarão de água doce é o de mais fácil reprodução e desenvolvimento em cativeiros, devido sua rusticidade e boa aceitação no mercado consumidor (SILVA; FRÉDOU, FILHO; 2007).

A criação de camarões de água doce vem apresentando tecnologias de rápido e significativo desenvolvimento, o que pode gerar índices de produtividade elevados (NHAN et al. 2019). Em geral, esse cultivo envolve três fases distintas de reprodução: a larvicultura, berçário e crescimento final (engorda) (VALENTI; FERREIRA; FERREIRA, 2009). Dando ênfase a fase de engorda, onde os juvenis são introduzidos em tanques de água doce alimentados com ração até atingirem o tamanho ideal para sua comercialização (PRETO; PIZZATO; VALLENTI, 2018).

Recentemente, o cultivo de camarão de água doce tornou-se um importante contribuinte para aquicultura global (NHAN et al. 2019). Marques et al. (2016), apresentaram um breve resumo das perspectivas futuras mundiais dos principais sistemas produtivos que envolvem o cultivo de camarão de água doce *Macrobrachium*, afirmaram que são excelentes animais com

opções de integração com outras atividades agrícolas, por aproveitarem os resíduos alimentares de espécies aquáticas como terrestres.

2.4 *Lactuca sativa* Lineu

A alface é uma hortaliça pertencente à família Asteraceae, espécie *Lactuca sativa* L. É uma planta originária do Mediterrâneo, no sul da Europa e na Ásia Ocidental (YURI et al. 2017). É típica de inverno, clima temperado, sendo muito sensível às condições climáticas, em que a temperatura, o fotoperíodo, a intensidade luminosa e a concentração de dióxido de carbono influenciam no crescimento e no desenvolvimento da planta (SAPKOTA; SAPKOTA; LIU, 2019).

Ao longo dos anos, foram realizados estudos para obtenção de cultivares mais adaptadas ao plantio durante a primavera e verão, e em regiões com altas temperaturas, sendo comercializadas durante todo o ano, evitando prejuízos, principalmente no florescimento precoce, que é considerado o estágio de colheita em que as folhas estão mais leitosas e amargas, sujeitas a danos na parte comestível da planta, que afetam no valor comercial do produto final (VARGAS, 2015).

O cultivo da alface pode ser feito geralmente em pequenas áreas próximas aos grandes centros consumidores e, por se tratar de uma atividade intensiva, demanda mão-de-obra, gerando postos de trabalho (SAPKOTA; SAPKOTA; LIU, 2019). Portanto, o desempenho de qualquer cultura está diretamente relacionado com à utilização de mudas de boa qualidade, de forma a aumentar a produtividade e diminuindo os riscos de colheita (FREITAS et al. 2013).

Normalmente essas cultivares podem ser produzidas pelos menos em quatro ambientes de cultivo: o convencional, o orgânico, o cultivo protegido e o sistema hidropônico (Resende et al. 2015). Dentre os sistemas, a hidroponia destaca-se como principal para o desenvolvimento da planta (NHAN et al. 2019).

2.4.1 Produção de mudas

A produção de mudas na horticultura é uma das etapas mais importantes no cultivo de hortaliças, pois deste processo que ocorre todo o crescimento e desenvolvimento final das plantas nos ambientes produtivos (SEDIYAMA; SANTOS; LIMA, 2014). Essa etapa de produção, é considerada para os olericultores como um processo normal e obrigatório, para a maioria das culturas (MESQUITA et al. 2019).

Desse modo, o desempenho de qualquer cultura no campo está relacionado com a utilização de mudas de qualidade, contribuindo entre outros fatores, para o aumento da produtividade e diminuição dos riscos de produção (SEDIYAMA; SANTOS; LIMA, 2014).

Uma alternativa ideal no cultivo de mudas, destaca-se a hidroponia, que é uma técnica conduzida em casa de vegetação, onde as mudas são produzidas em recipientes, ou bandejas multicelulares, sem o uso do solo, em meio líquido ou meio sólido (com substrato) (NHAN et al. 2019).

Logo, os substratos mais indicados na produção de mudas devem apresentar uma boa capacidade de troca de cátions e uma boa retenção de umidade, de modo a que favoreça as atividades fisiológicas das raízes, o baixo custo e a fácil aquisição para o produtor (MESQUITA et al. 2019). Os materiais inertes como vermiculita, espuma fenólica, lã de rocha, e misturas organo minerais, são os mais utilizados como substratos, pois têm função de dá suporte e não contêm nutrientes disponíveis para suprir as necessidades das plantas (FREITAS et al. 2013).

Para Filgueira (2008), as alfaces são consideradas mudas de 15 a 20 dias após a emergência. Ao final desse período as mudas devem ser transplantadas com 4 a 6 folhas definitivas. Recomenda-se que o transplante deve ser feito, prioritariamente, nas horas mais frescas do dia, ao final da tarde ou no início da manhã (VENZON; JÚNIOR, 2019).

REFERÊNCIAS

- ANDRIANI, Y.; DHAHIYAT, Y.; ZAHIDAH.; ZIDNI, I. The effect of stocking density ratio of fish on water plant productivity in aquaponics culture system. **Nusantara Bioscience**, v. 19, n. 1, p.31-35, feb. 2017.
- ARAUJO, M. C.; VALENTI, W. C. Effects of feeding strategy on larval development of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n.2, p. 85-90, 2017.
- BAILEY, D. S.; FERRAREZI, R. S. Valuation of vegetable crops produced in the UVI commercial aquaponic system. **Aquaculture Reports**, v. 7, p. 77-82, 2017.
- BARROS, K. D. N.; REIS, T. S.; RODRIGUES, R. P.; CAMPELO, D. A. V.; VERAS, G. C.; BRABO, M. F. Protocolo para avaliação de boas práticas de manejo na piscicultura no estado do Pará: um estudo de caso. **Research, Society and Development**, v. 9, n.8, p. 1-12, 2020.
- BERNSTEIN, S. **Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together**. 2. ed. Canadá, New Society Publishers, 2011. 256 p.
- BRABO, F. M.; PEREIRA, L. F. S.; SANTNA, J. V. M.; CAMPELO, D. A. V.; VERA, G. C. Cenário atual da produção de pescado no mundo, no brasil e no estado do Pará: ênfase na aquicultura. **Acta of fisheries and aquatic resources**, Pará, v. 4, n. 2, p. 50-58, set. 2016.
- BUSH, R. S.; BELTON, B.; LITTLE, D. C.; ISLAM, M. S. Emerging trends in aquaculture value chain research. **Aquaculture**, v. 498, n 1, p. 428-434, jan. 2019.
- BUZBY, K. M.; LIN, L. S. Scaling aquaponic systems: balancing plant uptake with fish output. **Aquacultural Engineering**, v. 63, p. 39-44, oct. 2014.
- CASTELLANI, D.; CARMAGO, A. F. M.; ABIMORAR, E. G. Aquaponia: aproveitamento do efluente do berçário secundário do Camarão-da-Amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) para produção de alface (*Lactuca sativa*) e agrião (*Rorippa nasturtium aquaticum*) hidropônicos. **Instituto de Biociências, Departamento de Ecologia, BIOIKOS**, Campinas, SP, p. 67-75, dez. 2009.
- COMETTI, N. H.; GALON, K.; BREMENKAMP, D. M. Comportamento de quatro cultivares de alface em cultivo hidropônico em ambiente tropical. **Revista Eixo**, v. 8, n. 1, jan-jun 2019.
- CONAMA, RESOLUÇÃO N.357 DE 17 DE MARÇO DE 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/>. Acesso em: 11/10/2020.

- CORTEZ, G. E. P.; ARAÚJO, J. A. C.; BELLINGIERI, P. A.; DALRIL, A. B. Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alface em hidroponia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.13, p. 494-498, jan. 2009.
- DA ROS, M. M. C. **Produção integrada de alface (*Lactuca sativa*) e carpas coloridas (*Cyprinus carpio var. koi*) em sistema aquapônico**. 2017. 82 p. Trabalho de Dissertação de Mestrado na Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2017.
- DELAIDE, B.; DELHAYE, G.; DERMIENCE, M.; GOTT, J.; SOYEURT, H.; JIJAKLI, M. H. Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. **Aquacultural Engineering**, 2017.
- DIJKGRAAD, K. H.; GODDEK, S.; KEESMAN, K. J. Modeling innovative aquaponics farming in kenya. **Aquaculture International**, v. 27, p. 1395-1422, may. 2019.
- EDWARDS, P. Aquaculture environment interactions: past, presente and likely future trends. **Aquaculture**, v. 447, p. 2-14. 2015.
- ENDUT, A.; LANANAN, F.; JUSOH, A.; NIK, W. N. W.; ALI, N. A. Aquaponics recirculation system: a sustainable food source for the future water conserves and resources. **Malaysian Journal of Applied Sciences**, Malásia, v. 1, n. 2, p. 1-12, jan. 2016.
- FAO. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura: cumplir los objetivos de desarrollo sostenible**. Roma, 2018. 250 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i9540es/I9540ES.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2019.
- FERRI, L. S.; ROCHA, W. S.; BRAZ FILHO, M. S. P. Tendências e tecnologias sustentáveis na aquicultura: recirculação, aquaponia e bioflocos. **Incaper em Revista**, Vitória, v. 9, jan/dez. 2018, p. 66-78.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. UFV, 2008. 421p.
- FITZSIMMONS, K.; SACE, C. F. Vegetable production in a recirculating aquaponics using Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) with and without fresh water prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). **Academia Journal of Agricultural Research**, v.1, n 12, p. 236-250, dec. 2013.
- FRANCHINI, A.C. **Cultivo integrado de peixes, camarões e hortaliças em viveiros de aquicultura**. 2019. 69 p. Trabalho de Dissertação de Mestrado em Aquicultura, Universidade Estadual Paulista, UNESP, São Paulo, SP, 2019.

- FREITAS, G. A.; SILVA, R. R.; BARROS, H. B.; MELO, A. V.; ABRAHÃO, W. A. P. Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n.1, p. 159-166, jan/mar. 2013.
- GENELLO, L.; FRY, P.; FREDERICK, A.; LI, X.; LOVE, D. C. Fish in the classrooms: a survey of the use of aquaponics in education. **European Journal of Health & Biology Education**, USA, v. 4, n. 2, p. 1-12, jul. 2015.
- GODDEK, S.; DELAIDE, B.; MANKASINGH, U.; RAGNARSDOTTIR, K. V.; JIAKLI, H.; THORARINSDOTTIR, R. Challenges of sustainable and commercial aquaponics. **Sustainability**, Germany, v. 7, n. 4, p. 4199-4224, april. 2015.
- GODDEK, S.; ESPINAL, C. A.; DELAIDE, B.; JIAKLI M. H.; SCHMAUTZ, Z.; WUERTZ, S. Navigating towards decoupled aquaponic systems: A system dynamics design approach. **Water**, v. 8, n. 7, p. 303, 2016.
- HUNDLEY, G. M. C.; NAVARRO, R. D. Aquaponia: a integração entre piscicultura e a hidroponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, Brasília, v. 3, p. 52-61, dez. 2013.
- IBGE. **Censo agro 2016**. Disponível: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>. Acessado: 20/10/2020.
- IBRAHIM, A. N. A. F. **Influência de diferentes substratos sobre a composição, a densidade e as interações tróficas do zooplâncton em lagoas de policultivo de camarão-de-água-doce *Macrobrachium amazonicum* e tilápia-do-nylo *Oreochromis niloticus***. 2016. 161p. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, UNESP, São José do Rio Preto, São Paulo. 2016.
- JENA, A. K.; BISWAS, P.; SAHA, H. Advanced farming systems in aquaculture: strategies to enhance the production. **Innovative farming**, v. 2, n. 1, p. 84-89, jan. 2017.
- JOLY, A.; JUNGE, R.; BARDOCZ, T. Aquaponics business in Europe: some legal obstacles and solutions. **Ecocycles**, v. 1, n. 2, p.3-5, 2015.
- JORDAN, R. A.; GEISENHOF, L. O.; OLIVEIRA, F. C.; SANTOS, R. C.; MARTINS, E. A. S. Yield of lettuce grown in aquaponic system using different substrates. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 27-31, 2018.
- JORDAN, R. A.; RIBEIRO, E. F.; OLIVEIRA, F. C.; GEISENHOF, L. O.; MARTINS, E. A. S. 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, jun. 2018.
- JUNGE, R.; WILHELM, S.; HOFSTETTER, U. Aquaponic in classrooms as a tool to promote system thinking. In: 3 rd Conference with International Participation, Conference VIVUS – on

Agriculture, Environmentalism, Horticulture and Floristics, Food Production and Processing and Nutrition, 99, 2014, Slovenia. **Anais**.... Slovenia, 2014. p. 12.

JUNGE, R.; KONIG, B.; VILLARROEL, M.; KOMIVES, T.; JIJAKLI, M. H. Strategic points in aquaponics. **Water**, v. 9, n. 182, 2017.

KASSAM, L.; DORWARD, A. A comparative assessment of the poverty impacts of pond and cage aquaculture in Ghana. **Aquaculture**, v. 470, p. 110-122, mar. 2017.

KIMPARA, J. M.; ZADJBAND, A. D.; VALENTI, W. C. Métodos para medir a sustentabilidade na aquicultura. **Embrapa Meio Norte** (Documentos 218), Teresina, Piauí, 2012. 73 p.

LI, C.; ZHANG, B.; LUO, P.; SHI, H.; LI, L.; GAO, Y.; LEE, C. T.; ZHANG, Z.; WU, W. M. Performance of a pilot-scale aquaponics system using hydroponics and immobilized biofilm treatment for water quality control. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 274-284, oct. 2018.

LIMA, J. F.; GARCIA, J. S.; SILVA, T. C. Natural diet and feeding habits of a freshwater prawn (*Macrobrachium carcinus*: Crustacea, Decapoda) in the estuary of the Amazon River. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 2, p. 235-244, 2014.

LIMA, J. F.; DUARTE S. S.; BASTOS, S. S.; CARVALHO, T. Performance of an aquaponics system using constructed semi-dry wetland with lettuce (*Lactuca sativa* L.) on treating wastewater of culture of Amazon River shrimp (*Macrobrachium amazonicum*). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 13476-13488, mar. 2019.

LOVE, D. C.; FRY, J. F.; LI, X.; HILL, E. S.; GENELLO, L.; SEMMENS, K.; THOMPSON R. E. Commercial aquaponics production and profitability: findings from na International survey. **Aquaculture**, v. 435, p. 67-74, sep. 2014.

LOVE, D. C; UHL, M. S; GENELLO, L. Energy and water use of a small-scale raft aquaponics system in Baltimore, Maryland, United States. **Aquacultural Engineering**, v. 68, p. 19-27, 2015.

MACIEL, C. R.; VALENTI, W. C. **Biology, fisheries, and aquaculture of the Amazon river prawn *Macrobrachium amazonicum***: a review. *Nauplius*, v. 17, n.2, p. 61-79. 2009.

MANCOSU, N.; SNYDER, R. L.; KYRIAKAKIS, G.; SPANO, D. Water scarcity and future Challenges for food production. **Water**, v. 7, p. 975-992, 2015.

MARQUES, H. L.; MORAES-VALENTI, P. Current status and prospects of farming the giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii* (De Man 1879) and the Amazon River prawn

Macrobrachium amazonicum (Heller 1862) in Brazil. **Aquaculture Research**, v.43, n.7, p. 984-992, jun. 2012.

MARQUES, H. L. A.; NEW, M. B.; BOOCK, M. V.; BARROS, H. P.; MALLASEN, M.; VALENTI, W. C. Integrated fresh water prawn farming: state-of-the-art and future potential. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 24, n. 3, p. 264-293, 2016.

MARTINS, C. I. M.; EDING, E. H.; VERDEGEM, M. C. J.; HEINSBROEK, L. T. N.; SCHNEIDER, O.; BLANCHETON, J. P.; D'ORBCASTEL, E. R.; VERRETH, J. A. J. New development in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. **Aquacultural Engineering**, v. 43, p. 83-93, 2010.

MARTINS, P. Aquaponia: uma novidade na educação ambiental. **Ambiental Mente Sustentable**, Portugal, v. 1, n. 23-24, p. 101-108, dez. 2017.

MAUCIERI, C.; NICOLETTO, C.; JUNGE, R.; SCHMAUTZ, Z.; SAMBO, P & BORIN, M. Hydroponic systems and water management in aquaponics: a review. **Italian Journal of Agronomy**, v. 13, p. 1-9, 2018.

MESQUITA, I. B. S.; ALBUQUERQUE, D. P.; LUZ, A. L. S.; OLIVEIRA, L. S.; NETO, J. P. A.; REGO, F. C.; CUNHA, I. C. M. Produção de mudas de alface com diferentes substratos em ambiente fechado. **Brazilian Journal Animal Environment Research**, v.2, n.4, p. 1257-1263, jul/set. 2019.

MONSEES, H; SUHL, J; PAUL, M; KLOS, M; DANNEHL, D; WURTZ, S. Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: Same Yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically reduced greenhouse gas emissions by saving inorganic fertilizer. **PLoS ONE**, v. 14, n. 6, p. 1-23, june. 2019.

MOURA, R. S. T.; LOPES, Y. A.; HENRY SILVA, G. G. Sedimentação de nutrientes e material particulado em reservatório sob influência de atividades de piscicultura no semiárido do Rio Grande do Norte. **Química Nova**, v. 37, n. 8, p.1283-1288, jul. 2014.

MOYA, E. A. E.; SHAGÚN, C. A. A.; CARRILLO, J. M. M.; ALPUCHE, P. J. A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, C. A.; MARTÍNEZ-YÁÑEZ, R. Herbaceous plants as part of biological filter for aquaponics system. **Aquaculture Research**, p. 1-11, 2014.

MPA. Boletim técnico da pesca e aquicultura. **1º anuário brasileiro da pesca e aquicultura**. Itajaí, Santa Catarina, 2013, p. 1-136.

NHAN, H. T.; TAI, N. T.; LIEM, P. T.; UT, V. N.; AKO, H. Effects of different stocking densities on growth performance of Asian swamp eel *Monopterus albus*, water quality and plant

- growth of watercress *Nasturtium officinale* in an aquaponic recirculating system. **Aquaculture**, v. 503, p. 96-104, dec. 2019.
- NOZZI, V.; GRABER, A.; SCHMAUTZ, Z.; MATHIS, A.; JUNGE, R. Nutrient management in aquaponics: comparison of three approaches for cultivating lettuce, mint and mushroom herb. **Agronomy**, v. 8, n. 27, p.1-15, mar. 2018.
- NUWANSI, K. K. T.; VERMA, A. K.; TIWARI, V. K.; PRAKASH, C.; CHANDRKANT, M. H. Standardization of the stocking density ratios of koi carp (*Cyprinus carpio* var. Koi): goldfish (*Carassius auratus*) in polyculture aquaponic recirculating system. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 17, p. 1271-1278, 2017.
- PALHETA, G. A. **Avaliação da qualidade da água e da sazonalidade no processo produtivo de *Liopenaeus vannamei* (BOONE, 1931) no município de curuçá, Pará.** 2013. 136 p. Tese de doutorado em Ciência Animal, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. 2013.
- PALM, H. W.; KNAUS, U.; APPELBAUM, S.; STRAUCH, S. M.; KOTZEN, B. **Coupled aquaponics systems.** Aquaponics Food Production Systems, p. 145-199, 2019.
- PETREA, S. M.; CRISTEA, V.; DEDIU, L.; CONTOMAN, M.; LUPOAE, P.; PLACINTA, S.; COADA, M. T.; ENACHE, M. A comparison of nitrate level in spinach grown both under different in aquaponic system and under natural growth conditions. **Original Research Paper**, v. 37, n. 2, p.47-48. oct. 2013.
- PETREA, S. M.; CRSITEA, V.; DEDIU, L.; LIU, F.; LUPOAEA, P.; ANTACHE, A.; BANDI, A.; COADA, M. The nitrate and nitrite levels from both spinach and stellate sturgeon meat in an aquaponic integrated system. **Animal Science and Biotechnologies**, v. 71, n. 2, p. 227-235. oct. 2014.
- PINHO, S. M.; MELLO, G. L.; FITZSIMMONS, K. M.; EMERENCIANO, M. G. 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, p. 99-112, oct. 2018.
- PRETO, B. L.; PIZZATO, G. M.; VALLENTI, W. C. Use of feedining trays on grow-out phase amazon river prawn, *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862). **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 34, n. 1, p. 125-130, nov. 2018.
- RAFIEE, G. R.; ROS, S. C.; KAMARUDIN, M. S.; ISMAIL, M. R.; SIJAM, K. Effects of supplementary nutrient in an aquaponic system for production of ornamental red tilapia (*Oreochromis* sp.) and lettuce (*Lactuca sativa* var longifolia). **Journal of Survey in Fisheries Sciences**, v. 5, n. 2, p. 65-75, 2019.

- RAHMTULLAH, R.; DAS, M.; RAHMATULLAH, S. M. Suitable stocking density of tilapia in na aquaponic system. **Bangladesh J. Fish. Res.**, v. 14, p. 29-35. 2010.
- RAKOCY, J. E. Tem guidelines for aquaponic systems. **Aquaponics Journal**, v.17, 2007.
- RAKOCY, J. E. **Aquaponics: integrating fish and plant culture**. Aquaculture production systems, 1º. ed. USA, 2012. 44 p.
- RAKOCY, J. E.; MASSER, M. P.; LOSORDO, T. M. **Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics integrating fish and plant culture**. Oklahoma Cooperative Extension Service (SRAC-454), 1º ed. USA, 2016. 16 p.
- RIJN, J. V. Waste treatment in recirculating aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, v. 53, p. 49-56, 2013.
- ROCHA, C. P. **Fecundidade e fertilidade do camarão-da-amazônia, *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Decapoda: Palaemonidae) em dois ambientes estuarinos do estado do Pará**. 2010. 56 p. Dissertação de mestrado em Ciência Animal, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. 2010.
- RU, D.; LIU, J.; HU, Z.; IANG, L.; CHENG, X. L. V. Z. Improvement of aquaponic performance through micro and macro nutrient addition. **Environ Sci Pollut Research Article**, v. 24, n. 19, p. 16328-16335, may. 2017.
- SACE, C.F.; FITZSIMMONS, K. M. Vegetable production in a recirculating aquaponic system using Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) with and without freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). **Journal Agriculture Research**, v. 1, p. 236-250, 2013.
- SAMERWONG, P.; BUSH, S. R.; OOSTERVEER, P. Implications of multiple National certification standards for Thai shrimp aquaculture. **Aquaculture**, v. 493, p. 319-327, jan. 2018.
- SAPKOTA, S.; SAPKOTA, S.; LIU, Z. Effects of nutrient composition and lettuce cultivar on crop production in hydroponic culture. **Horticulturae**, v. 5, n. 4, p. 1-8, 2019.
- SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, I. C.; LIMA, P. C. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, p.829-837, nov/dez. 2014.
- SHETE, A. P.; VERMA, A. K.; CHADHA, N. K.; PRAKASH, C.; PETER, R. M.; AHMAD, I. Optimization of hydraulic loading rate in aquaponic system with Common carp (*Cyprinus carpio*) and Mint (*Mentha arvensis*). **Aquacultural Engineering**, v.72, p. 53-57, 2016.
- SILVA, M. C. N.; FRÉDOU, F. L.; FILHO, J. S. R. Estudo do crescimento do camarão *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) da ilha de combú, Belém, Estado do Pará. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 2, n. 4, 2017.

- SILVA, M. S.; LOSEKANN, M. E.; HISANO, H. Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes. **Embrapa Meio Ambiente** (Documentos, 95), Jaguariúna, Campinas, São Paulo, 2013. 39 p.
- SIMEONIDOU, M.; PASCHOS, I.; GOUVA, E.; KOLYGAS, M.; PERDIKARIS, C. Performance of a small-scale modular aquaponic system. **Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation International Journal of the Bioflux Society**, v. 5, n. 4, p. 182-188, sep. 2012.
- SOLIMAN, N. F.; YACOUT, D. M. M. Aquaculture in Egypt: status, constraints and potentials. **Springer International Publishing**, v. 24, p. 1201-1227, mar, 2016.
- SOMERVILLE, C.; COHEN, M.; PANTANELLA, E.; STANKUS, A.; LOVATELLI, A. Small-scale aquaponic food production integrated fish and plant farming. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome, 2014.
- SUHL, J.; DANNEHL, D.; KLOAS, W.; BAGANZ, D.; JOBS, S.; SCHEIBE, G.; SCHMIDT, U. Advanced aquaponics: evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics. **Agricultural water management**, Berlim, v. 178, p. 335-334, august. 2016.
- TOKUNAGA, K.; AKO, H.; TAMARU, C.; LEUNG, P. Economics of small-scale commercial aquaponics in Havaí. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 46, n. 1, p. 19-33, feb. 2015.
- VALENTI, W. C.; FERREIRA, D. G. S.; FERREIRA, R. G. S. **Cultivo de camarões de água doce**. Viçosa, Minas Gerais, CPT, 2009, 258p.
- VARGAS, P. F. Pendoamento precoce da alface. **Campos & negócios**, 2015. Disponível em: <<http://www.revistacampoenegocios.com.br/pendoamento-precoce-da-alface-e-agora>>. Acesso em: 28/05/2018.
- VENZON, M.; JÚNIOR, T. J. P. **Manual de tecnologias agrícolas**. 2. ed. Epamig. 2019. 920p.
- VIEIRA FILHO, J. E. R.; FISHLOW, A. **Agricultura e indústria no brasil: inovação e competitividade**. 1. ed. Brasília: IPEA, 2017. 316 p.
- YURI, J. E.; RESENDE, G. M.; COSTA, N. D.; GOMES, A. S. Desempenho agrônômico de genótipos de alface americana no submédio do vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 292-297, abr/jun. 2017.

CAPÍTULO II

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE AQUAPONIA COM CAMARÃO DA AMAZÔNIA (*Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862) NO CULTIVO DE MUDAS DE ALFACE (*Lactuca sativa* L.) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES NUTRITIVAS

*Artigo será submetido para a publicação no **Aquaculture International** ISSN 0967 - 6120 (Versão online). Foram respeitadas todas as normas de apresentação de artigos da revista pretendida.*

AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE AQUAPONIA COM CAMARÃO DA AMAZÔNIA (*Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862) NO CULTIVO DE MUDAS DE ALFACE (*Lactuca sativa* L.) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES NUTRITIVAS

Resumo

A aquaponia é considerada como uma modalidade de cultivo de alimento em que há produção de organismos aquáticos e vegetais, tornando-se um sistema de recirculação de soluções que os nutrientes são gerados através das excretas dos animais e de nutrientes químicos, permitindo que as plantas e os animais utilizem esses resíduos minerais sem afetar o desempenho integrado. O objetivo do trabalho foi avaliar o desenvolvimento de mudas de alface em um sistema aquapônico elaborado com efluentes da carcinicultura de água doce de *Macrobrachium amazonicum* em diferentes concentrações nutritivas. O experimento foi em delineamento inteiramente casualizado (DIC), utilizando-se a cultivar de alface Veneranda e quatro concentrações nutritivas (0%, 20%, 46% e 100%), com três repetições. Foram monitorados dados meteorológicos do interior e exterior do ambiente protegido, assim como, os dados de amostragem para análise de água. Para os animais avaliaram os dados morfométricos, zootécnicos e o desempenho produtivo. Para as plantas avaliaram a altura e o número de folhas, a matéria fresca e seca, assim como o comprimento das mudas. Os resultados para os animais observaram que os tratamentos com efluentes da carcinicultura com 20% de nutrientes comerciais apresentaram melhores desempenhos para o comprimento, peso final e ganho de peso, enquanto para o tratamento com 0% de nutrientes comerciais apresentou melhor desempenho somente para taxa de sobrevivência. Para as plantas os tratamentos com efluentes da carcinicultura com 100% e 20% de solução comercial apresentaram os melhores resultados para massa fresca total, da parte aérea, massa seca total e comprimento parte aérea, respectivamente, comparando com os tratamentos com 0% nutrientes comerciais apresentou o desempenho inferior aos demais. Conclui-se que os tratamentos com 100% e 20% de solução nutritiva apresentaram os melhores resultados para crescimento das mudas de alface, suprimindo as carências nutricionais do vegetal, sem comprometer o desenvolvimento da planta e do animal.

Palavras – chave: *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862). *Lactuca sativa* L. Cultivo sem solo. Minerais.

Abstract

Aquaponics is considered as a modality of food cultivation in which aquatic and vegetable organisms are produced, becoming a system of recirculation of solutions that nutrients are generated through animal excreta and chemical nutrients, allowing plants and animals use these mineral residues without affecting integrated performance. The objective of the work was to evaluate the development of lettuce seedlings in an aquaponic system elaborated with effluents from freshwater shrimp farming of *Macrobrachium amazonicum* in different nutrient concentrations. The experiment was in a completely randomized design (DIC), using the cultivar of Veneranda lettuce and four nutrient concentrations (0%, 20%, 46% and 100%), with three replications. Meteorological data from inside and outside the protected environment were monitored, as well as sampling data for water analysis. For the animals, they evaluated the morphometric, zootechnical data and the productive performance. For the plants, they evaluated the height and number of leaves, the fresh and dry matter, as well as the length of the seedlings. The results for the animals observed that the treatments with effluents from shrimp farming with 20% of commercial nutrients showed better performances for length, final weight and weight gain, while for the treatment with 0% of commercial nutrients, it presented better performance only for survival. For plants, treatments with effluents from shrimp farming with 100% and 20% commercial solution showed the best results for total fresh weight, aerial part, total dry mass and aerial part length, respectively, compared to treatments with 0% commercial nutrients performed less than the others. It was concluded that the treatments with 100% and 20% of nutrient solution showed the best results for the growth of lettuce seedlings, supplying the nutritional deficiencies of the vegetable, without compromising the plant and animal development.

Keywords: *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862). *Lactuca sativa* L. Cultivation without soil. Minerals.

Introdução

Os sistemas aquapônicos são definidos como a integração da aquicultura associada à a hidroponia (Castellanos et al. 2015). A aquaponia foi considerada como um método de produção de organismos aquáticos e vegetais, tornando-se uma atividade de grande importância nas últimas décadas (Love et al. 2014). Trata-se de uma modalidade de cultivo de alimento com alto aproveitamento dos resíduos orgânicos produzidos na aquicultura (Monsees et al. 2019), em um único sistema de recirculação de soluções composto por nutrientes de excrementos animais e de nutrientes químicos, permitindo que as plantas e animais utilizem esses resíduos minerais, possibilitando o surgimento de produtos de melhor qualidade, de maior rentabilidade e de menor custo de produção no mercado consumidor (Endut et al. 2016; Palm et al. 2019).

Recentemente, a incorporação de sistemas de recirculação de organismos aquáticos e plantas se tornou um modelo interessante para o setor da ciência, da indústria e para o setor ambiental (Jena et al. 2017). Essa tecnologia agrega uma atividade ambientalmente inovadora, ecológica e sustentável, através da produção de alimentos e a da associação de práticas de aquicultura e hidroponia em um único sistema de recirculação de soluções (Joly et al. 2015; Li et al. 2018).

Dentre a espécie animal utilizou-se o camarão *M. amazonicum* (Heller, 1862) um animal de grande interesse de estudo (Valenti et al. 2009). São animais nativos das regiões de água doce no rio Amazonas, sendo excelentes opções de integração no sistema de aquaponia, pois são considerados animais onívoros (Lima et al. 2014), onde há aproveitamento de uma ampla variedade de resíduos alimentares, de espécies aquáticas ou terrestres, além de ser fontes de nutrientes para hortaliças (Marques et al. 2016). Para a espécie vegetal, utilizou-se a alface (*L. sativa* L), por ser uma das hortaliças de maior demanda no Brasil e no mundo (Yuri et al. 2017), pela sua facilidade de cultivo, boa aceitação na mesa do consumidor e adaptadas em ambientes de cultivos hidropônicos, sendo bastante recomendadas na aquaponia (Nhan et al. 2019).

Apesar da aquicultura e hidroponia serem práticas antigas de produção de alimentos, somente no século XX apresentaram resultados satisfatórios para ciência (Rakocy, 2012). As informações sobre a aquaponia em nível brasileiro é escassa no que se refere às informações dessa atividade (Martins, 2017). Estudos apontaram que nutrientes contidos nos efluentes da aquicultura podem ser utilizados para crescimento de plantas em hidroponia, mas precisam ser completados com aplicação de soluções químicas para fornecer os nutrientes que não estavam disponíveis no cultivo dos animais (Delaide et al. 2017; Nozzi et al. 2018). Notaram que somente o uso da água do efluente da criação de organismos aquáticos não é suficiente para suprir as necessidades nutricionais das plantas, como fósforo (P), magnésio (Mg), potássio (K), ferro (Fe) e enxofre (S) (Ru et al. 2017). Dessa forma, a utilização de nutrientes comerciais em sistemas aquapônicos corrigir as carências nutricionais da planta sem afetar o desempenho integrado com o animal (Chekli et al. 2017; Lima et al. 2019).

Portanto, o objetivo do projeto foi avaliar o desenvolvimento de mudas de alface em sistema aquapônico elaborado com efluentes da carcinicultura de água doce de *M. amazonicum* em diferentes concentrações nutritivas.

Materiais e métodos

O experimento foi realizado entre 15 de fevereiro de 2020 a 02 de março de 2020, na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, Pará, e consiste na implantação de um sistema aquapônico do tipo *floating*, constituindo desde da sua montagem estrutural até a avaliação do desenvolvimento de mudas de alface (*Lactuca*

sativa) com cultivo de camarão *Macrobrachium*. Os detalhes do sistema de aquaponia referente a construção e ao experimento são descritas posteriormente neste artigo (Figura 1).

Implantação do experimento

Ambiente protegido

Um ambiente protegido com 96,00 m² de área, possuindo 8,00 m de largura e 12,00 m de comprimento foi construído. A estufa do tipo capela não climatizado, no sentido Leste-Oeste, foi construído em estrutura de madeira, com altura do pé direito de 3,00 m. A cobertura utilizada no telhado foi de polietileno de baixa densidade transparente com espessura de 0,150 mm e laterais abertas.

Tanques dos animais

Os camarões foram criados em doze caixas d'água de 1000 litros (tanques), com dimensões circulares de 1,52 m diâmetro, com altura de 0,76 m. Cada tanque apresentava uma densidade de estocagem de 40 camarões caixa d'água⁻¹, com peso médio de 1,37 gramas.

Bancada de produção de mudas

Foram instaladas doze bancadas de germinação do tipo *floating* para cada tanque dos animais, sustentada por uma estrutura de madeira. As bancadas foram feitas de compensado, revestido por napa plástica impermeável à água, com dimensão 0,72 m de largura, 1,62 m de comprimento e 0,10 m de altura. Semelhante ao trabalho sobre mesa de aquaponia desenvolvido por Ribeiro et al. (2017).

Reservatórios de decantação e de filtração

Os reservatórios de decantação foram acoplados junto às caixas d'água, com capacidade de armazenamento de 0,06 m³. Cada recipiente funcionou como reservatório de retiradas de partículas sólidas em suspensão nos tanques de cultivo.

Os reservatórios de filtração biológica foram acoplados no mesmo nível dos reservatórios de decantação, com capacidade de armazenamento de 0,10 m³. Foram distribuídos de maneira semelhante para cada recipiente seis sacos de engrazamento de 2,00 kg contendo mídias plásticas feitas de material descartáveis e mídia comercial (biobol). Cada reservatório foi colocado uma bomba submersa com vazão máxima de 3.000 litros horas⁻¹, direcionado para os tanques de cultivo e a outra parte para as bancadas de cultivo. A fonte de água utilizada foi a de poço artesiano.

Sistema de aeração

A aeração do sistema foi realizada utilizando um compressor radial com perdas de ar dentro do ambiente protegido, distribuídos por canos de PVC de 25 mm, e acoplados por mangueiras transparentes de silicone direcionados para o tanque de criação dos camarões.

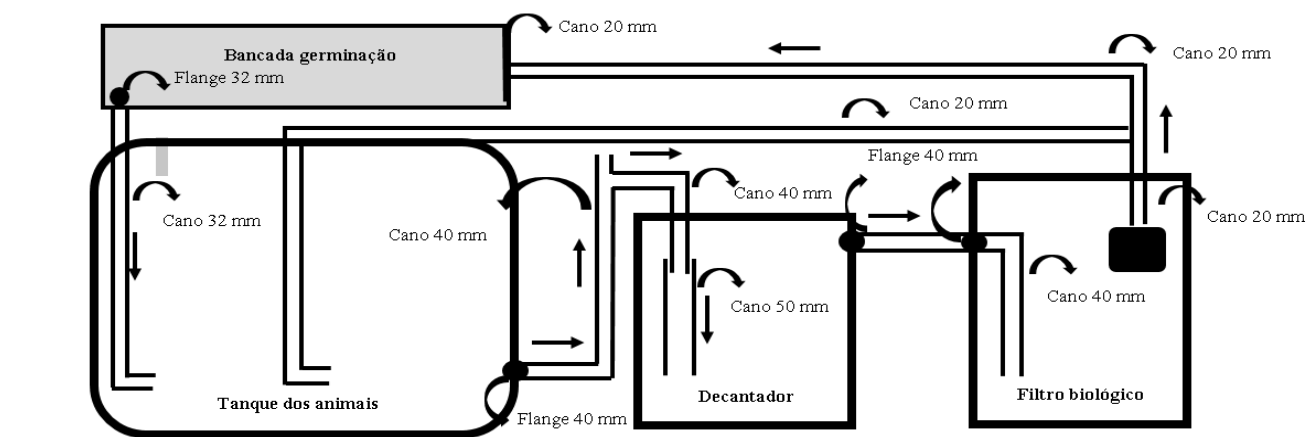


Figura 1. Componentes da estufa adotado na aquaponia. UFRA, Belém, Pará, 2020.

Tratamentos e desenho experimental

O sistema de aquaponia foi testado durante um ciclo de produção de mudas de alface Veneranda (*L. sativa*). O organismo aquático escolhido foi o camarão *M. amazonicum*. O experimento foi delineado em inteiramente casualizado (DIC), utilizando-se uma espécie animal e outra vegetal, com quatro tratamentos (concentrações nutritivas) e três repetições. Para análise do animal cada parcela foi constituída por 40 camarões por reservatório, totalizando 120 camarões para cada tratamento, avaliando-se 4 animais parcela⁻¹. Para a análise da planta cada parcela foi constituída por bandejas de poliestireno contendo 128 células, totalizando 384 mudas de plantas de alface para cada tratamentos, com área útil de 24 plantas parcela⁻¹. A Tabela 1 contém as informações da composição de cada tratamento.

Tabela 1. Descrição dos tratamentos utilizados no experimento de aquaponia. UFRA, Belém, Pará, 2020.

Treatamento	Descrição
T1	Efluentes da carcinicultura (0% nutrientes comerciais Hidrogood Fert®)
T2	Efluentes da carcinicultura + 20% de nutrientes comerciais Hidrogood Fert®
T3	Efluentes da carcinicultura + 46% de nutrientes comerciais Hidrogood Fert®
T4	Efluentes da carcinicultura + 100% de nutrientes comerciais Hidrogood Fert®

A duração do experimento foi de 18 dias para ambos os tratamentos (concentrações nutritivas). Os camarões pesando $1,37 \pm 0,68$ g foram colocados nos tanques a uma densidade de 40 organismos caixa d'água⁻¹. Estes alimentados com NUTRIPISCIS STARTER®, ração comercial para camarões com pellets de 0,80 a 1,00 mm, com 45% de proteína a 10% de biomassa estocada especificamente para fase de engorda, duas vezes ao dia.

Para a produção de mudas foi utilizado a fibra de coco, previamente lavada e umedecida e colocado em bandejas de poliestireno (128 células). Realizou-se a semeadura colocando-se três sementes por célula, deixando-se apenas uma plântula (após a emergência), a até completar o ciclo de produção de mudas de 18 DAS (dias após

a emergência). Após dois DAS as bandejas foram colocadas nas bancadas tipo *floating*, com as concentrações nutritivas recirculando durante dia e noite.

Todo cultivo para produção de mudas de alface foi nutrido pelo sistema constituído por 12 tanques de criação dos camarões, no qual foram adicionados tanto somente efluentes das excretas dos camarões, como também adicionados soluções nutritivas comerciais da Hidrogood Fert[®], com 660 gramas do Hidrogood Fert NPK (10-09-28) e 500 gramas Hidrogood Fert Nitrato de Cálcio. Nessa fase, a condutividade elétrica da solução variou de 0,08 a 1,50 mS cm⁻¹, com pH variando de 5,78 a 6,51. Conforme a tabela 2.

Tabela 2. Solução da Hidrogood Fert NPK (10-09-28)[®] e Hidrogood Fert Nitrato de Cálcio[®] diluídas para o cultivo de mudas de alface em sistema *floating*.

Concentração finais	Concentração diluída		
	20%	46%	100%
660 gramas Hidrogood Fert NPK (10-09-28)	132 gramas	304 gramas	660 gramas
500 gramas Hidrogood Fert Nitrato de Cálcio	100 gramas	230 gramas	500 gramas

Fonte: Autores, 2020.

O sistema de bombeamento dos efluentes tanto da carcinicultura como das soluções nutritivas dos reservatórios foi acionado de forma fracionada em quatro partes em cada 24 h dia⁻¹, nos reservatórios de filtragens biológicas de 100 litros (biofiltro).

Os resíduos das excretas dos camarões em conjunto com as diferentes concentrações de soluções nutritivas foram transportados por canos de PVC de 40 mm para os reservatórios de decantação e de filtragem até as bancadas de cultivo das mudas de alfices, com retorno também para os tanques de criação de camarões. Esse fluxo de água e nutrientes permitiu uma vazão regular de retorno para os tanques de criação de camarões de 2,04 L min⁻¹, e para as bancadas de cultivo uma vazão regular de 3,75 L min⁻¹.

Coleta de dados

Parâmetros meteorológicos

As condições climáticas foram monitoradas no interior e exterior do ambiente protegido durante o experimento para obtenção dos parâmetros climáticos. Para isso, foi instalado um sensor de temperatura e umidade relativa do ar da marca WLXY[®] modelo HF-2^a.

As medidas externas dos parâmetros climáticos foram coletadas em estação Agrometeorológica ISARH, UFRA, Campus Belém, Pará.

Na tabela 3, são apresentados os parâmetros agrometeorológicos monitorados durante a condução do experimento.

Tabela 3. Parâmetros agrometeorológicos, temperatura e umidade relativa máxima e mínima do ar medidos em ambiente protegido (T máx AP, T mín AP, UR máx AP, UR mín AP) e na estação meteorológica (T máx AE, T mín AE, UR máx AE, UR mín AE). UFRA, Belém, Pará, 2020.

	T AP (°C)	T AE (°C)	UR AP (%)	UR AE (%)
Máxima	34,32±2,71	31,40±1,10	88,35±12,12	86,23±3,63
Mínima	29,90±1,68	23,74±0,57	62,53±15,61	82,44±6,87

Amostragem para análise dos efluentes

Para as análises da qualidade dos efluentes foram mensurados e monitorados diariamente, no período da manhã e da tarde os seguintes parâmetros: pH, com auxílio de peagâmetro digital da marca ASKO®; oxigênio dissolvido, através de um oxímetro (YSI Pro 20®) e; a condutividade elétrica dos sólidos dissolvidos (CE), através de um condutivímetro portátil (TDS & EC®).

Os dados de temperatura dos efluentes foram mensurados diariamente, pelo período da manhã e da tarde, através de um termômetro digital (ASKO®).

Dados dos animais

Dados morfométricos dos animais

Foram realizadas duas biometrias, com 10% da biomassa dos camarões estocados, aos 0 e 18 dias após o experimento). Foi aferido o comprimento total (CT) individual do camarão, com auxílio de um paquímetro, tomado da extremidade anterior da cabeça até o final da nadadeira caudal.

Dados zootécnicos dos animais

Os camarões foram pesados com auxílio de uma balança de mesa com precisão de 0,01 g, com 10% da biomassa dos camarões estocados, aos 0 e 18 dias após o experimento. Para os dados de massa individual, em gramas (g), foram inicialmente considerados 10% do peso vivo (PV) durante o período experimental.

Desempenho produtivo dos animais

A massa média dos animais cultivados, foi estimado pela seguinte equação:

$$\mathbf{M\ médio = \frac{\Sigma\ massa}{n\ camarões}}$$

Onde: Σ massa = soma da massa dos camarões

n camarões = quantidade de camarões da biometria.

A biomassa, foi calculado pela seguinte fórmula: **BM = M final – M inicial**; onde, “Mf” é a massa final (g), e o “Mi” é a massa inicial (g).

O biomassa média por meio da seguinte fórmula: **BM média = BIOMASSA total (g m⁻³) / n camarões**; onde, “n camarões” é a quantidade de camarões da biometria.

A taxa de conversão alimentar aparente (CAA), calculada por meio da seguinte fórmula: **CAA = Quantidade de ração (g) / Biomassa (g)**.

A produtividade foi calculada pela seguinte fórmula: **Prod = somatório das repetições (Mfc)**; onde, “Prod” é produtividade, e o “Mfc” é a massa final dos camarões (g).

A taxa de sobrevivência foi expressa em termos de porcentagem, por meio da seguinte fórmula: **TS = (NFc / NIc) * 100**; onde, “TS” é a taxa de sobrevivência, e o “NFc” é o número final de camarões, e o “NIc” é o número inicial de camarões.

Dados das plantas

Altura e número de folhas das plantas

Aos 7, 14 e 18 dias após a emergência foi determinada o comprimento médio das plantas avaliando 24 plantas parcela⁻¹, medindo-se a altura, da raiz até o ápice do maior ramo, mantendo-se ereto durante o procedimento, através de uma régua graduada em centímetros. Após todo esse processo foi realizada a contagem do número de folhas das plantas, medindo-se de forma manual e individualizada, separando-se as folhas dos diferentes tratamentos.

Massa fresca (total, parte aérea e raiz) e massa seca total

Aos 18 dias após a emergência foi determinada a massa fresca total, da parte aérea e raiz utilizando as mesmas plantas de cada parcela tomadas para avaliação do item anterior, foram separadas e pesadas as folhas, caules e raízes em balança digital com precisão de 0,01 g. Após todo esse processo foi avaliado a massa seca total, levando para estufa de circulação de ar forçada a 65°C por 72 horas ou até atingir peso constante. Posteriormente as amostras foram novamente pesadas em balança digital com precisão de 0,01 g.

Comprimento total, da parte aérea e raiz

Aos 18 dias após a emergência foi determinada o comprimento das plantas utilizando as mesmas plantas de cada parcela tomadas para avaliação do item anterior, medindo-se o tamanho da planta, da raiz até o ápice do maior ramo, mantendo-se ereto durante o procedimento, através de uma régua graduada em centímetros.

Para avaliar os dados de produtividade que difere entre tratamentos matéria fresca e seca total (MFT, MFPA, MFR e MST), o comprimento total, da parte aérea e das raiz (CT, CPA e CR), altura da planta (AP) e número de folhas (NF) utilizou-se uma Anova-1. Para determinar quais os tratamentos que difere entre si utilizamos o teste “a posteriori” de Tukey. Todos os testes foram realizados no programa Statistica 7.0.

Resultados

Avaliação dos elementos de qualidade dos efluentes

Na tabela 4, o pH apresentou médias variando no tanque de cultivo de 5,8±0,3 a 6,5±2,3, enquanto que no biofiltro as médias variaram de 5,8±0,3 a 6,2±0,4.

A condutividade elétrica apresentou médias variando no tanque de cultivo e no biofiltro 0,1±0,1 a 1,5±0,1. Enquanto, que oxigênio dissolvido apresentou médias semelhantes em todos os tratamentos tanto no tanque de criação dos animais quanto no sistema de filtragem, variando de 6,4±2,5 a 6,7±3,3.

A temperatura do efluente (°C) apresentou médias mínimas e máximas variando 27,4±0,9 a 27,6±0,9 nos tanques de cultivos e, de 27,5±0,9 a 27,9±3,4 nos sistemas de filtragens na aquaponia.

Tabela 4. Médias dos parâmetros de qualidade dos efluentes no tanque de criação do camarão (TQ) e no biofiltro (BF) em sistema aquapônico com efluentes da carcinicultura de água doce em diferentes concentrações nutritivas (0%, 20%, 46% e 100% de nutrientes comerciais). UFRA, Belém, Pará, 2020.

	0%		20%		46%		100%	
	TQ	BF	TQ	BF	TQ	BF	TQ	BF
pH	6,5±2,3	6,2±0,4	6,0±0,2	6,0±0,2	5,9±0,3	5,9±0,2	5,8±0,3	5,8±0,3
CE	0,1±0,1	0,1±0,1	0,4±0,3	0,4±0,1	0,7±1,0	0,8±1,0	1,5±0,1	1,5±0,1
OD	6,7±3,3	6,7±3,3	6,6±3,0	6,5±3,0	6,6±2,9	6,6±2,9	6,6±2,5	6,4±2,5
TE	27,4±0,9	27,5±0,9	27,6±0,9	27,8±0,9	27,4±0,9	27,9±3,4	27,6±0,9	27,8±1,0

Nota: CE = condutividade elétrica (mS cm⁻¹); OD = Oxigênio dissolvido (mg L⁻¹); TAE = Temperatura da água do efluente (°C); TQ = Tanque; BF = Biofiltro.

Características avaliadas dos animais

Na tabela 5, a taxa de sobrevivência dos animais todos diferiram entre si, exceto os tratamentos com efluentes da carcinicultura com 20% e 46% de nutrientes comerciais não tiveram diferença estatística. Nota-se que, o tratamento com 100% de nutrientes comerciais foi inferior em relação aos demais tratamentos. Sendo que os tratamentos com 0%, 20% e 46% apresentaram maiores rendimentos de produção em relação taxa de sobrevivência.

No comprimento, no peso final e no ganho de peso dos animais diferiram entre si, sendo os tratamentos com efluentes da carcinicultura com 20% de nutrientes comerciais foi superior em relação aos demais tratamentos. Nota-se que o tratamento com 100% de nutrientes comerciais apresentou resultados inferiores aos demais tratamentos.

Tabela 5. Parâmetros produtivos dos camarões cultivados em sistema aquapônico com efluentes da carcinicultura de água doce em diferentes concentrações nutritivas (0%, 20%, 46% e 100% de nutrientes comerciais). UFRA, Belém, Pará, 2020.

Parâmetros	0%	20%	46%	100%
Sobrevivência (%)	90.83 ^a	86.7 ^{ab}	81.7 ^{ab}	49.1 ^b
Comprimento inicial (cm) e peso (g)	5.59 ± 0.16 e 1.37 ± 0.13			
Comprimento final (cm)	6.85 ± 0.10 ^a	7.02 ± 0.11 ^a	6.34 ± 0.13 ^b	6.11 ± 0.14 ^b
Peso final (g)	2.28 ± 0.09 ^a	2.43 ± 0.10 ^a	1.87 ± 0.11 ^b	1.66 ± 0.10 ^b
Ganho de peso (g)	0.91±0.09 ^a	1.06±0.10 ^a	0.50 ± 0.11 ^b	0.28 ± 0.10 ^b

Características avaliadas das plantas

Na tabela 6, a massa fresca total, da parte aérea e da raiz houve diferença significativa em todos os tratamentos, exceto os tratamentos com efluentes da carcinicultura com 20% e 40% de nutrientes comerciais que não houveram diferença estatística. Estima-se que o tratamento com 100% de nutrientes comerciais foi superior em relação a massa fresca total (1,81±0,062) e da parte aérea (1,61 ± 0,05), enquanto para massa da raiz os

tratamentos com 0% ($0,16 \pm 0,008$) e 100% ($0,21 \pm 0,012$) de nutrientes comerciais foram considerados inferiores em relação aos demais tratamentos.

Na massa seca total houve somente diferença significativa no tratamento com efluentes da carcinicultura com 0% de nutrientes comerciais, sendo os tratamentos com 20%, 46% e 100% não diferiram entre si. Sendo que o tratamento com 100% de nutrientes foi superior em relação aos demais tratamentos.

No comprimento total os tratamentos foram diferentes entre si, exceto os tratamentos com efluentes da carcinicultura com 46% e 100% não houveram diferença significativa. O tratamento com efluente com 20% de nutrientes comerciais ($1,81 \pm 0,062$) apresentou maior rendimento de comprimento total, e o tratamento somente com efluentes da carcinicultura (0% nutrientes comerciais) menor rendimento ($0,99 \pm 0,040$).

Tabela 6. Massa fresca total, massa fresca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca total em (g planta⁻¹), comprimento total (CT), comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento da raiz (CR) em cm, em sistema aquapônico com efluentes da carcinicultura de água doce em diferentes concentrações nutritivas (0%, 20%, 46% e 100% de nutrientes comerciais). UFRA, Belém, Pará, 2020.

Parâmetros	0%	20%	46%	100%
Massa fresca total (g)	$0,99 \pm 0,040^c$	$1,60 \pm 0,051^b$	$1,51 \pm 0,049^b$	$1,81 \pm 0,062^a$
Massa seca total (g)	$0,044 \pm 0,005^b$	$0,075 \pm 0,003^a$	$0,074 \pm 0,008^a$	$0,083 \pm 0,004^a$
Comprimento total (cm)	$21,21 \pm 0,40^b$	$23,37 \pm 0,50^a$	$22,00 \pm 0,33^{ab}$	$22,53 \pm 0,32^{ab}$
Massa fresca da parte aérea (g)	$0,81 \pm 0,04^c$	$1,34 \pm 0,04^b$	$1,22 \pm 0,03^b$	$1,61 \pm 0,05^a$
Comprimento da parte aérea (cm)	$8,39 \pm 0,18^c$	$12,03 \pm 0,19^b$	$11,89 \pm 0,15^b$	$13,08 \pm 0,19^a$
Massa fresca da raiz (g)	$0,16 \pm 0,008^c$	$0,26 \pm 0,014^a$	$0,29 \pm 0,020^a$	$0,21 \pm 0,012^b$
Comprimento da raiz (cm)	$12,82 \pm 0,32^a$	$11,34 \pm 0,41^b$	$10,11 \pm 0,27^{bc}$	$9,45 \pm 0,26^c$

No comprimento da parte aérea todos os tratamentos diferiram entre si, exceto os tratamentos com efluentes da carcinicultura com 20% e 46% de nutrientes comerciais que não houveram significância. O tratamento com 100% de nutrientes comerciais ($1,61 \pm 0,05$) apresentou maior rendimento de comprimento da parte aérea em relação aos demais tratamentos, enquanto que com 0% nutrientes ($0,81 \pm 0,04$) os menores rendimentos.

No comprimento da raiz todos os tratamentos houve diferença significativa entre si, exceto no tratamento com 46% de nutrientes comerciais que não houve diferença entre si. O maior rendimento de comprimento da raiz foi no tratamento com 0% nutrientes comerciais ($12,82 \pm 0,32$), enquanto o tratamento com 100% de nutrientes comerciais ($9,45 \pm 0,26$) apresentou o menor comprimento de raiz em relação aos demais tratamentos.

Na figura 2, verificou-se que na altura da planta não houve diferença estatística entre os tratamentos dias após a emergência, somente houve significância no dia 18 em que o tratamento com 0% nutrientes comerciais diferenciou entre os demais tratamentos. Consta-se que 18 dias após a emergência que o tratamento com 100% de nutrientes comerciais foi superior em relação altura entre os tratamentos, enquanto que o tratamento com 0% de nutrientes comerciais foi considerado inferior em relação aos demais tratamentos.

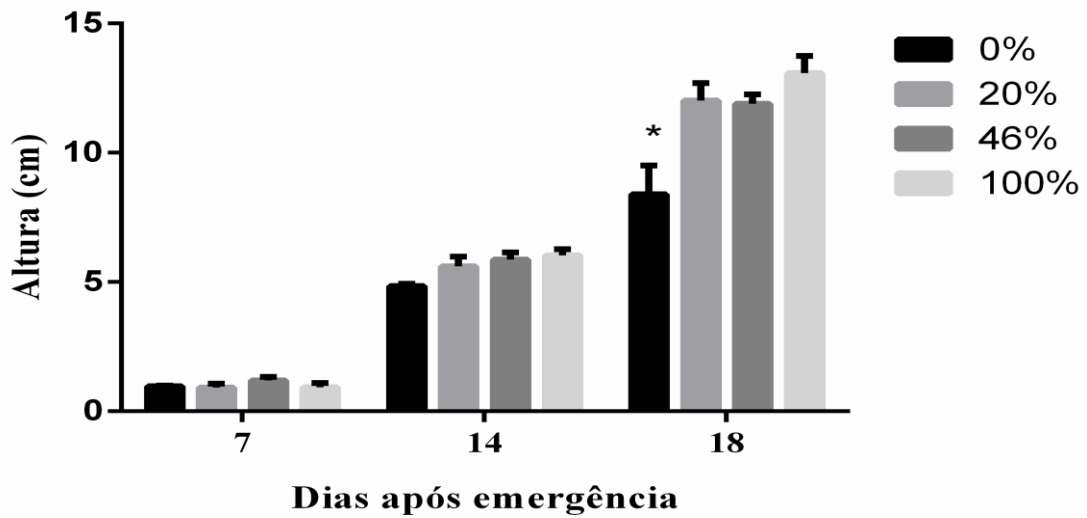


Figura 2. Altura da planta (AP) em cm, de mudas de alface submetida em sistema aquapônico com efluentes da carcinicultura de água doce em diferentes concentrações nutritivas (0%, 20%, 46% e 100% de nutrientes comerciais), aos 7, 14 e 18 dias após a emergência. UFRA, Campus Belém, Pará, 2020.

Na figura 3, verificou-se que no número de folhas não houve diferença estatística entre os tratamentos dias após a emergência, somente houve significância no dia 18 em que o tratamento com 0% e 100% nutrientes comerciais diferenciaram-se dos demais tratamentos. No dia 18 após a emergência o tratamento com 100% de nutrientes comerciais foi superior em relação número de folhas entre os tratamentos, enquanto que o tratamento com 0% de nutrientes comerciais foi considerado inferior em relação aos demais tratamentos.

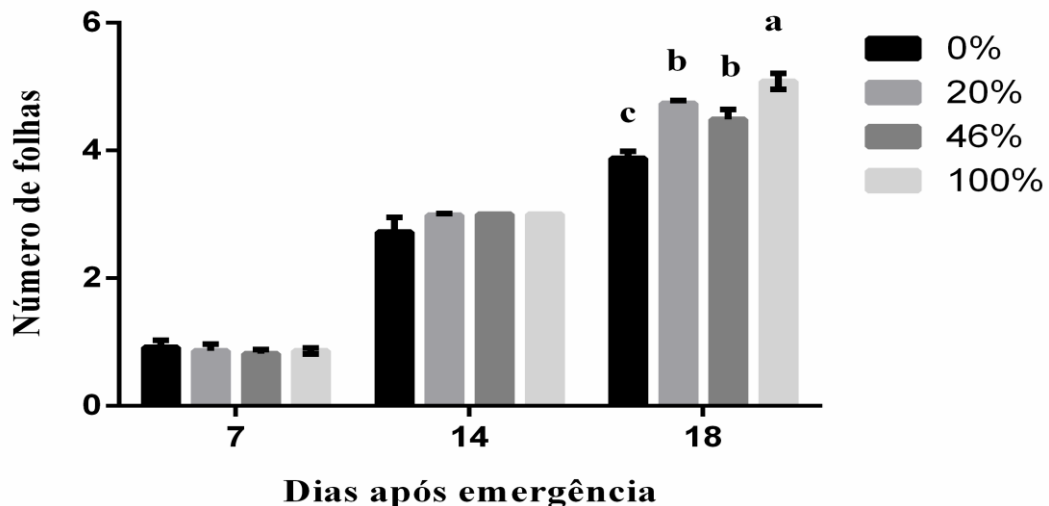


Figura 3. Número de folhas (NF) de mudas de alface submetida em sistema aquapônico com efluentes da carcinicultura de água doce em diferentes concentrações nutritivas (0%, 20%, 46% e 100% de nutrientes comerciais), aos 7, 14 e 18 dias após a emergência. UFRA, Campus Belém, Pará, 2020.

Discussão

Durante todo o período experimental verificou-se que adição de solução mineral teve efeito favorável na mortalidade dos animais, enquanto para as alfaces não foi registrada ocorrência de mortalidade e morbidade do vegetal. Diferentemente ao observado no trabalho Ru et al. (2017), que avaliou o efeito da adição de micro e macronutrientes no sistema de aquaponia, observou-se que não houve mortalidade dos animais e plantas com a suplementação de solução nutritiva.

Estima-se para avaliação dos elementos de qualidade dos efluentes como pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura do efluente permaneceram dentro da faixa recomendada para o cultivos aquapônicos (Kubtiza, 2017; Santos e Júnior (2018); Lima et al. 2019). Segundo estudos Moraes-Valenti e Valenti (2009), o pH ideal para o cultivo de *M. amazonicum* deve estar entre 7,4 e 8,4, enquanto para as plantas recomenda-se manter o pH entre 5,5 a 7,0, para que possam ter melhor disponibilidade de absorção de nutrientes para seu desenvolvimento (Cerozi e Fitzsmmons, 2016). Com isso, para alguns autores é necessário manter o pH da água seja mantido entre 6,5 e 7,0 para atender satisfatoriamente a todos os componentes biológicos como animal, vegetal e bactérias no sistema de aquaponia (Zou et al. 2016).

A condutividade elétrica foi considerada viável para produção de mudas de alface. Lima et al. (2019), avaliando a cultura do camarão *M. amazonicum* com cultivo de *L. sativa* em sistemas aquapônicos encontrou-se uma variação de corrente elétrica de 0,115 a 0,225 mS cm⁻¹. Em pesquisas com Furtado et al. (2016), descreveu uma variação de 0,079 a 0,475 mS cm⁻¹ em um sistema de recirculação com a espécie animal do experimento acoplado a um filtro biológico.

O oxigênio dissolvido foi considerado satisfatório para o cultivo de organismos aquáticos e desenvolvimento da hortaliça. Identificou-se que valores foram próximos de 4,6 a 6,1 mg L⁻¹ adequados para o sistema de aquaponia (Lima et al. 2019). Considerados acima de algumas pesquisas que apresentou OD em torno de 4,6 mg L⁻¹, mas foram ótimos para os animais e plantas em crescimento (Ru et al. 2017).

A temperatura do efluente foi favorável para o desenvolvimento *M. amazonicum* e *L. sativa* em sistema de aquaponia, pois estão próximos do que Lima et al. (2019) identificou em ambientes de cultivo para espécie animal valor viável, que ficou entre 27 e 31°C. Porém próximos do que (Ru et al. 2017) indicam para a produtividade de alface (28 a 30°C). (Rakocy, 2012) afirma que a temperatura ideal para o cultivo de alface é de 24°C. No entanto, os valores estão fora do recomendado para cultura, mas mesmo assim houve o crescimento do vegetal.

Para as características dos animais verificou-se os tratamentos com menor adição de nutrientes foi que apresentou melhores resultados quanto a taxa de sobrevivência, ao comprimento, ao peso e ao ganho de peso final. Estima-se que o animal com essa concentração desenvolveu melhor do que nos outros ambientes. Para Santos e Júnior (2020) utilizando-a as mesmas espécies *M. amazonicum* e *L. sativa*, verificou-se uma taxa de sobrevivência de 53,33%, muito menor que do experimento. Diferentemente, do estudo por Ru et al. (2017) na qual mesmo adicionando nutrientes comerciais os animais e as plantas não sofreram danos de mortalidade e danos no cultivo.

Para as características das plantas observaram-se que as variáveis de massa fresca e seca apresentaram rendimentos viáveis de produção de mudas nos tratamentos com acréscimo de solução nutritiva com 20% e 100% de nutrientes. Rafiee et al. (2019), avaliando os efeitos da suplementação dos nutrientes na produção de tilápia vermelha (*Oreochromis* sp) com cultivo de alface (*L. sativa* L.) em sistema de recirculação de água, verificaram que a solução nutritiva suplementada com 25% foi necessária para obter maior rendimento do vegetal, onde essa

concentração é tolerada na criação de tilápia. Nascimento et al. (2016) avaliando o crescimento de mudas de pimentão (*Cascadura Ikeda*) irrigadas com diferentes concentrações de efluente da piscicultura (0, 25, 50, 75, 100 e 125%), constataram que a maior concentração de efluente proporcionou um maior aporte de nutrientes para as plantas, tendo efeitos nos valores de biomassa do vegetal da parte aérea e das raízes. Castellanos et al. (2015) avaliando o pepino (*Cucumis sativus* Forssk, 1775) e alface (*L sativa* L.) em sistema aquapônicos do tipo NFT “Técnica do Fluxo Laminar”, em relação as variáveis de massas, observaram e um menor rendimento em aquaponia do que em sistemas de hidropônicos, pois em hidroponia os nutrientes são fornecidos em quantidades ideais, favorecendo o desenvolvimento da planta, enquanto diferentemente da aquaponia há somente o uso dos efluentes dos animais, onde sua menor produção deve-se a escassez de nutrientes produzidos no sistema.

Para as variáveis de comprimento da parte aérea (CPA) e das raízes (CR), as mudas de alface que apresentaram os melhores rendimentos de produção foram os tratamentos com acréscimo de soluções nutritivas de 20% e 100% nutrientes, onde verificou-se que o maior comprimento da parte aérea resultou em menores comprimentos de raízes. Notou-se que o tratamento somente com efluentes da carcinicultura (0% de nutrientes comerciais) apresentou uma escassez na absorção de nutrientes no sistema, fazendo com que suas raízes fossem em busca de nutrientes para o desenvolvimento da planta. Soares et al. (2020), avaliando a produção de cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema de hidroponia com diferentes concentrações de soluções nutritivas, observaram que os nutrientes que contém a solução são onde a raiz acaba retirando ou absorvendo os seus elementos essenciais para o desenvolvimento do vegetal, quando essas quantidades de nutrientes não estão adequadas, é necessária uma suplementação mediante o aumento da condutividade elétrica que contém o elemento em falta.

Para as variáveis de altura e número de folhas da planta apresentaram melhores resultados nos tratamentos com efluentes da carcinicultura com adição de nutrientes de 20% e 100%. Ru et al. (2017), em estudos com os efeitos da adição de micro e macro nutrientes em sistema que integraram cultivos hidropônicos com a criação de peixes, observaram que somente o uso da água do efluente da criação de organismos aquáticos não é suficiente para suprir as necessidades nutricionais das plantas, pois apresentam baixos teores de fósforo (P), magnésio (mg), potássio (K), ferro (Fe), manganês (Mn) e enxofre (S), independente da espécie utilizada, onde faz com que o produtor utilize uma suplementação mineral para suprir as carências nutricionais das plantas. Onah et al. (2018), em estudos com diferentes meios de germinação para produção de mudas de alface (*L sativa* L.) em sistema de aquaponia, verificou-se que o uso dos efluentes dos organismos aquáticos favorece o aumento do crescimento e número de folhas de mudas germinadas.

Olhando para os resultados da pesquisa em relação ao custo benefício, os tratamentos somente com efluentes da carcinicultura e adicionando 20% e 100% foram considerados meios viáveis para a produção de mudas de alface na aquaponia. Luz et al. (2012), em trabalhos com diferentes concentrações de solução nutritiva em hidroponia, verificaram que o coentro (*Coriantrum sativum* L.) e salsa (*Petroselinum crispum* Mill. Nym) não sofreram efeitos no seu desenvolvimento. Cometti et al. (2008), afirmaram que do ponto de vista econômico, a redução na concentração de solução nutritiva permite uma economia de pelo menos 50% no custo, sem comprometer a produtividade.

Conclusão

Os resultados do presente estudo mostram que os tratamentos com efluentes da carcinicultura com 100% e 20% de nutrientes comerciais apresentaram os melhores resultados de produção de mudas de alface, respectivamente. Sendo que para o desempenho dos animais os tratamentos somente com efluentes da carcinicultura com 20% de nutrientes comerciais apresentaram os melhores resultados de produtividade. O tratamento somente com efluentes da carcinicultura não apresentou resultado satisfatório de produção para alface e camarão. Conclui-se que os tratamentos com 100% e 20% de solução nutritiva apresentaram os melhores resultados para crescimento das mudas de alface, suprindo as carências nutricionais do vegetal, sem comprometer o desenvolvimento da planta e do animal.

Referências

- Brasil. **Ministério da Agricultura e Reforma Agrária**. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Departamento Nacional de Produção Vegetal. Coordenação de Laboratório Vegetal. Regras para Análise de Sementes. Brasília, DF, 1992. 365 p.
- Castellanos DC, Leal IZ, Velazco JMJR, García AR, Navarro JTN, Bañuelos CAR, Hernández JG. Implementation of na experimental nutrient film technique-type aquaponic system. **Aquaculture International**, v. 24, n.2, p. 637-646, oct. 2015. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04496-5>.
- Cerozi BS, Fitzsimmons K. The Effect of pH on phosphorus availability and speciation in na aquaponics nutrient solutions. **Bioresource Technology**, v. 219, p. 771-781, aug. 2016.
- Cekli L, Kim E, Saliby IE, Kim Y, Phuntsho S, Li S, Ghaffour N, Leiknes T, Shon HK. Fertilizer drawn forward osmosis process for sustainable water reuse to grown hydroponic lettuce using commercial nutrient solution. **Separation and Purification Technology**, v. 17, p. 1-38, 2017.
- Cometti NN, Matias GCS, Zonta E, Mary W, Fernandes MS. Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico em sistema NFT. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 252-257, abr. 2008.
- Delaide B, Delhaye G, Dermience M, Gott J, Soyeurt H, Jijakli MH. Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. **Aquacultural Engineering**, 2017.
- Endut A, Lananan F, Jusoh A, Nik WNW, Ali NA. Aquaponics recirculation system: a sustainable food source for the future water conserves and resources. **Malaysian Journal of Applied Sciences**, Malásia, v. 1, n. 2, p. 1-12, jan. 2016.
- Furtado YIC, Duarte SS, Carvalho TM, Lima JF. “**Qualidade de água no cultivo de camarão-da-amazônia *Macrobrachium amazonicum* em sistema fechado de Recirculação**”. 14, Set. 2016 [online]. Available: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-> Acessado:06/11/2020.
- Jena AK, Biswas P, Saha H. Advanced farming systems in aquaculture: strategies to enhance the production. **Innovative farming**, v. 2, n. 1, p. 84-89, jan. 2017.
- Joly A, Junge R, Bardocz T. Aquaponics business in Europe: some legal obstacles and solutions. **Ecocycles**, v. 1, n. 2, p.3-5, 2015.
- Kubitza F. A água na aquicultura: a relação entre pH, gás carbônico, alcalinidade e dureza e sua influência no desempenho e saúde dos peixes e camarões. **Panorama da aquicultura**, v. 27, n. 163, set/out. 2017. p. 1-9.

- Li C, Zhang B, Luo P, Shi H, Li L, Gao Y, Lee CT, Zhang Z, Wu WM. Performance of a pilot-scale aquaponics system using hydroponics and immobilized biofilm treatment for water quality control. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 274-284, oct. 2018.
- Lima JF, Garcia JS, Silva TC. Natural diet and feeding habits of a freshwater prawn (*Macrobrachium carcinus*: Crustacea, Decapoda) in the estuary of the Amazon River. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 2, p. 235-244, 2014.
- Lima JF, Duarte SS, Bastos AM, Carvalho T. Performance of an aquaponics system using constructed semi-dry wetland with lettuce (*Lactuca sativa* L.) on treating wastewater of culture of Amazon River shrimp (*Macrobrachium amazonicum*). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p.13476-13488, mar. 2019.
- Love DC, Fry JF, Li X, Hill ES, Genello L, Semmens K, Thompson RE. Commercial aquaponics production and profitability: findings from an International survey. **Aquaculture**, v. 435, p. 67-74, sep. 2014.
- Luz JMQ, Andrade LV, Dias FF, Silva MAD, Haber LL, Oliveira RC. Produção hidropônica de coentro e salsa crespa sob concentrações de solução nutritiva e posições das plantas nos perfis hidropônicos. **Original Article**, v.28, n.4, p.589-597, jul. 2012.
- Marques HLA, New MB, Boock MV, Barros HP, Mallasen M, Valenti WC. Integrated fresh water prawn farming: state-of-the-art and future potential. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 24, n. 3, p. 264-293, 2016.
- Martins P. Aquaponia: uma novidade na educação ambiental. **Ambiental Mente Sustentável**, Portugal, v. 1, n. 23-24, p. 101-108, dez. 2017.
- Monsees H, Suhl J, Paul M, Klos M, Dannehl D, Wurtz S. Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: Same Yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically reduced greenhouse gas emissions by saving inorganic fertilizer. **PLoS ONE**, v. 14, n. 6, p. 1-23, june. 2019.
- Moraes-Valenti P, Valenti WC. Culture of the Amazon River Prawn *Macrobrachium amazonicum*. In: Freshwater Prawns: **Biology and Farming New**, M. B. Valenti WC, Tidwell JH, D'abramo LR, Kutty MN (Orgs). Nova Jersey: Wiley Blackwell. 2009.
- Nascimento TS, Floriano LS, Pereira AIA, Monteiro RNF, Sales MAL. Produção de mudas de pimentão irrigadas com efluente de piscicultura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, n.1, p. 449-459, jan. 2016.
- Nhan HT, Tai NT, Liem PT, Ut VN, Ako H. Effects of different stocking densities on growth performance of Asian swamp eel *Monopterus albus*, water quality and plant growth of watercress *Nasturtium officinale* in an aquaponic recirculating system. **Aquaculture**, v. 503, p. 96-104, dec. 2019.
- Nozzi V, Graber A, Schmautz Z, Mathis A, Junge R. Nutrient management in aquaponics: comparison of three approaches for cultivating lettuce, mint and mushroom herb. **Agronomy**, v. 8, n. 27, p.1-15, mar. 2018.
- Onah EV, Ndubuisi OB, Oluwakemi EC, Olusimbo KO, Adeumo L, Funmilayo OT, Matthew O, Lawrence OT, Ayoola MAR. Assessment of growth media for vegetable seed germination teste for aquaponic system. Horticultura for Improved Food Security, **Sustainable Environment and National Economic**, p. 578-582, nov. 2018.
- Palm HW, Knaus U, Appelbaum S, Strauch SM, Kotzen B. **Coupled aquaponics systems**. Aquaponics Food Production Systems, p. 145-199, 2019.

- Rafiee GR, Ros SC, Kamarudin MS, Ismail MR, Siam K. Effects of supplementary nutrient in na aquaponic system for production of ornamental red tilapia (*Oreochromis Sp.*) and lettuce (*Lactuca sativa var longifolia*). **Journal of Survey in Fisheries Sciences**, v.5, n.2, p. 65-75, nov. 2019.
- Rakocy JE. **Aquaponics: integrating fish and plant culture**. Aquaculture production systems, 1°. ed. USA, 2012. 44 p.
- Ribeiro MD, Testezlaf R, Ferrarezi RS. Validação de parâmetros operacionais para o manejo de mesas de subirrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 55, p. 549-556, abr. 2017.
- Ru D.; Liu J, Hu Z, Zou Y, Iang L, Cheng XLVZ. Improvement of aquaponic performance through micro and macro nutrient addition. **Environ Sci Pollut Research Article**, v. 24, n. 19, p. 16328-16335, may. 2017.
- Santos COR, Júnior AP. Analysis of the Productive Capacity of an Aquaponic System with *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) and Lettuce Culture (*Lactuca sativa* Var. Crispa). **International Journal of Science and Research**, v. 9, n. 7, p. 819-830. July. 2020.
- Valenti W. C, Ferreira DGS, Ferreira RGS. **Cultivo de camarões de água doce**. Viçosa, Minas Gerais, CPT, 2009, 258p.
- Soares CS, Silva JA, Silva GN, Neto FB. Produção hidropônica de cultivares de alface em duas concentrações da solução nutritiva. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v.16, n.1, p. 82-93, jan.2020.
- Yuri JE, Resende GM, Costa ND, Gomes AS. Desempenho agrônômico de genótipos de alface americana no submédio do vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 292-297, abr/jun. 2017.
- Zou Y, Hu Z, Zhang J, Xie H, Guimbaud C, Fang Y. Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. **Bioresource Technology**, v.210, jun. 2016. Elsevier, p. 81-87.