

## Qualidade de Água e Produtividade de Camarão e de Alface em Aquaponia em Leitos Cultivados Semissecos



OBJETIVOS DE  
DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL

2 FOME ZERO  
E AGRICULTURA  
SUSTENTÁVEL





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Amapá  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
107**

**Qualidade de Água e Produtividade de  
Camarão e de Alface em Aquaponia  
em Leitões Cultivados Semissecos**

*Jô de Farias Lima  
Argemiro Midonês Bastos*

**Embrapa Amapá**  
*Macapá, AP  
2019*

**Embrapa Amapá**  
Endereço: Rodovia Juscelino Kubitschek, nº 2.600,  
Km 05, CEP 68903-419  
Caixa Postal 10, CEP 68906-970, Macapá, AP  
Fone: (96) 3203-0201  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da  
Embrapa Amapá

Presidente  
*Jamile da Costa Araújo*

Secretário-Executivo  
*Daniel Marcos de Freitas Araújo*

Membros  
*Adelina do Socorro Serrão Belém, Elisabete da  
Silva Ramos, Gilberto Ken-Iti Yokomizo, Jô de  
Farias Lima, Leandro Fernandes Damasceno,  
Ricardo Adaime da Silva, Sônia Maria Schaefer  
Jordão e Wardsson Lustrino Borges*

Supervisão editorial e normalização bibliográfica  
*Adelina do Socorro Serrão Belém*

Revisão Textual  
*Elisabete da Silva Ramos*

Editoração eletrônica  
*Fábio Sian Martins*

Cadastro Geral de Publicações da Embrapa  
(CGPE)  
*Ricardo Santos Costa*

Foto da capa  
*Jô de Farias Lima*

**1ª edição**  
Publicação digitalizada (2019)

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Amapá

---

Lima, Jô de Farias.

Qualidade de água e produtividade de camarão e de alface em aquaponia  
em leitos cultivados semissecos / Jô de Farias Lima, Argemiro Midonês Bastos. -  
Macapá: Embrapa Amapá, 2019.

PDF (22 p.): il. -- (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Amapá;  
ISSN 1517-4867, 107).

1. Crustáceo. 2. Aquicultura. 3. Produção pesqueira. 4. Hortaliça folhosa. 5.  
Produção vegetal. 6. Sistema misto. I. Lima, Jô de Farias. II. Bastos, Argemiro  
Midonês. III. Série.

CDD 639.5

## Sumário

---

Resumo .....	5
Abstract .....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos .....	8
Descrição do Sistema .....	8
Cultivo e condições hidráulicas .....	9
Amostragem e análise de dados.....	10
Resultados e Discussão .....	10
Eficiência do sistema de tratamento de água .....	10
Produtividade de plantas de alface .....	14
Produtividade de camarão .....	15
Conclusão.....	17
Agradecimentos .....	18
Referências .....	18



# Qualidade de Água e Produtividade de Camarão e de Alface em Aquaponia em Leitos Cultivados Semissecos

Jô de Farias Lima<sup>1</sup>

Argemiro Midonês Bastos<sup>2</sup>

**Resumo** – Sistemas mistos, que unem a produção aquícola em recirculação com a produção de hortaliças (aquaponia), têm demonstrado viabilidade econômica e técnica, possibilitando a criação de diversas espécies de animais e vegetais. O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência de um sistema de recirculação com leitos cultivados semissecos no tratamento de efluentes do camarão-da-amazônia *Macrobrachium amazonicum*, em três densidades de armazenamento: 40, 80 e 120 pós-larvas m<sup>-2</sup> e também avaliar a produtividade da produção de camarão e alface após o período de 110 dias de cultivo. Os seguintes parâmetros de qualidade de água foram monitorados: sólidos totais dissolvidos, turbidez, oxigênio dissolvido, pH, temperatura, condutividade elétrica, amônia total, nitrito, nitrato, potássio e fosfato inorgânico dissolvido. Os resultados demonstraram que o sistema de recirculação de aquaponia utilizando leitos cultivados semissecos com alface foi satisfatoriamente eficiente no tratamento da água tornando-a apropriada para o cultivo do camarão nas densidades testadas. *Macrobrachium amazonicum* demonstrou ser uma espécie tolerante ao aumento da densidade. Densidades de 80 e 120 camarões m<sup>-2</sup> levam a espécie a uma clara quebra de hierarquia populacional, promovendo maior uniformização do plantel cultivado. Os nutrientes presentes no sistema não foram suficientes para uma adequada produção de alface, havendo a necessidade de suplementação, especialmente com nutrientes como cálcio, potássio e magnésio, no sistema.

**Termos para indexação:** sistema integrado, *Macrobrachium amazonicum*, leito cultivado construído, Região Norte.

---

<sup>1</sup> Biólogo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Amapá, Macapá, AP

<sup>2</sup> Licenciado em Física, doutor em Biodiversidade e Biotecnologia, professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Macapá, AP

## Water Quality and Productivity of Shrimp and Lettuce in Aquaponics with Semi-dry Wetlands

**Abstract** – Mixed systems, that combine the production of aquatic organisms in an aquaculture recirculation system with hydroponic vegetable production, have shown economic and technical feasibility, allowing the integrated culture of several species of aquatic animals and vegetables. The present study aimed to evaluate the efficiency of a recirculation system using semi-dry constructed wetlands to treat effluents from Amazonian shrimp in three storage densities: 40, 80 and 120 post-larvae m<sup>-2</sup>, and to evaluate productivity shrimp and lettuce production for a period of 90 days. The water quality parameters sampled were total dissolved solids, turbidity, dissolved oxygen, pH, temperature, electrical conductivity, ammonia, nitrite, nitrate, potassium and dissolved inorganic phosphate. The results showed that the aquaponic recirculation system using semi-dry constructed wetlands with lettuce was satisfactorily efficient in the water treatment making it suitable for the cultivation of this shrimp in the tested densities. *M. amazonicum* shown to be tolerant to increasing density. Densities above 80 shrimps m<sup>-2</sup> a clear break in the population hierarchy of the *M. amazonicum*, promoting uniformity in the cultivated stock. However, the nutrients present in the system were not enough for the adequate production of lettuces, necessitating nutrient supplementation, especially calcium, potassium and magnesium.

**Index terms:** integrated system, *Macrobrachium amazonicum*, constructed wetland, North region.

## Introdução

---

Nos últimos anos, a demanda por alimentos mais saudáveis, incluindo organismos aquáticos, tem crescido vertiginosamente, impulsionando o setor aquícola a ampliar as áreas de produção e desenvolver sistemas intensivos cada vez mais eficientes e produtivos. No entanto, esse crescimento não vem acompanhado de tecnologias e práticas ambientalmente sustentáveis, que garantam a intensificação da produção sem ampliar a geração de poluentes, uso de água e demanda por energias fósseis (Mercante et al., 2011).

Uma das soluções para essas preocupações ambientais é a criação de organismos aquáticos em Sistemas de Aquicultura de Recirculação (SAR). Esses sistemas visam à criação intensiva de peixes com a reutilização da água após tratamentos mecânico e biológico, de forma a controlar e reduzir a emissão de poluentes para o ambiente, possibilitar melhores condições sanitárias para as espécies cultivadas intensivamente e otimizar o consumo de água e uso de área (Martins et al., 2011; Carrera et al., 2013; Dalsgaard et al., 2013, 2017). Outra vantagem do SAR é a possibilidade de produção de peixes em pequenas propriedades, perto de centros urbanos (Martins et al., 2011).

Contudo, um SAR também gera efluentes (restos de ração e fezes), que sem o devido tratamento podem provocar alterações na qualidade da água e prejudicar o crescimento dos animais, sendo necessário equipamentos eficientes para disponibilização de oxigenação e infraestrutura adequada para o manuseio dos resíduos sólidos, tratamento e controle contínuo e eficiente de parâmetros de qualidade de água, tornando o sistema relativamente caro (Carrera et al., 2013; Dalsgaard et al., 2013, 2017).

Estudos recentes têm demonstrado viabilidade econômica e técnica da junção do sistema de recirculação com a produção de hortaliças, formando um sistema misto denominado aquaponia. Esse sistema integrado, além de poder ser desenvolvido em escala familiar (Carneiro et al., 2015) ou comercial (Emerenciano et al., 2015; Love et al., 2015), tem como características o baixo consumo de água e o alto aproveitamento de resíduos orgânicos para produção vegetal, reduzindo os custos de produção (Rakocy et al., 2013; Love et al., 2015).

Assim como um SAR tradicional, o sistema de aquaponia necessita de etapas e infraestrutura para tratamento dos resíduos sólidos e particulados na água, que incluem o uso de decantadores, filtros mecânicos, mi-

neralizadores ou filtros biológicos e oxigenadores. Geralmente, a aquaponia é classificada de acordo com o tipo de meio utilizado para produção vegetal, isto é, leitos semissecos baseados em mídia, leitos em jangada flutuante e técnica de fluxo laminar de nutriente (NFT). Entre eles, estudos têm demonstrado a aquaponia baseada em leitos semissecos como a mais eficiente na utilização de nitrogênio, uma vez que poderia fornecer maior área superficial para microrganismos do que os demais tipos, por isso tem sido considerado o método mais comum e popular na aquaponia (Love et al., 2015).

A literatura brasileira sobre aquaponia ainda é escassa, contudo diversos trabalhos têm demonstrado viabilidade técnica e econômica sobre a produção integrada de peixes e vegetais utilizando modelos compactos de aquaponia (Barros, 2018; Granja, 2018; Jordan et al., 2018). A presente publicação técnica teve como objetivo apresentar resultados de estudos desenvolvidos na Embrapa Amapá sobre a eficiência de um sistema de recirculação utilizando leitos cultivados semissecos no tratamento de efluentes durante a criação do camarão-da-amazônia e produção de alface.

Os resultados contribuem com o alcance do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 – Fome Zero, pactuado na Conferência das Organizações das Nações Unidas (ONU) sobre desenvolvimento sustentável, ocorrido no Rio de Janeiro em 2012, que busca acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e a melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável, demonstrando a eficiência de um sistema produtivo de baixo custo, consumo de água e de área e que permite a ciclagem de nutrientes integrando o cultivo de camarões com vegetais em nível familiar.

## Material e Métodos

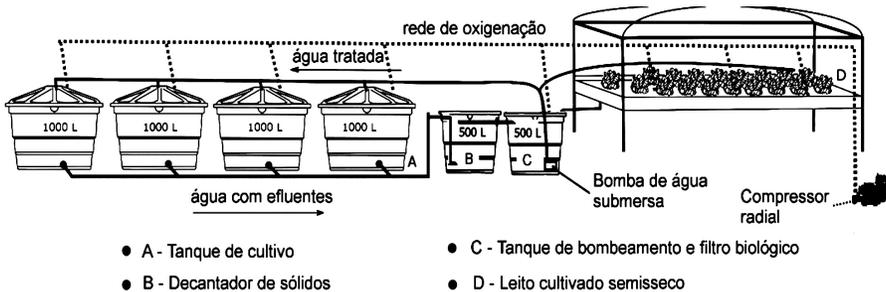
---

### Descrição do Sistema

O sistema de recirculação avaliado no presente estudo era composto por quatro tanques circulares de 1.000 L para o cultivo dos camarões interligados por uma rede de drenagem e abastecimento a uma unidade de tratamento e controle de efluentes constituída de dois tanques utilizados na decantação e um leito cultivado com alface (*Lactuca sativa*) para tratamento biológico da água. O primeiro tanque de decantação era circular com fundo levemente

cônico com 200 L de capacidade, onde foi instalado um sistema de drenagem superficial do tipo vórtex e outro para drenagem dos resíduos sólidos. O segundo tanque com capacidade de 500 L, preenchido com sacos de rafia, servia como reservatório. Desse, a água era bombeada simultaneamente para o leito cultivado e para os tanques de cultivo do camarão-da-amazônia. Para isso foi utilizada uma bomba submersa para aquários com vazão média de 4.000 L/h, acionada por um temporizador a cada 15 minutos. A água retida nos leitos cultivados retornava aos tanques de cultivo por meio de um sifão de sino.

Os três leitos cultivados utilizados no experimento foram construídos em madeira, forrados com papelão, lona plástica e tela em PVC tipo sombrite. Cada leito mediu 0,2 m x 1,0 m x 4,0 m totalizando um volume de 0,8 m<sup>3</sup> de capacidade (Figura 1). O substrato filtrante utilizado foi a brita nº 2. O leito cultivado semisseco, por simular as condições de um leito de um rio de várzea, foi inundado e esvaziado periódica e sistematicamente. Nesse caso, o substrato funcionou como um filtro mecânico e biológico, e ao mesmo tempo serviu para fixação e desenvolvimento das raízes das plantas de alface.



**Figura 1.** Esquema geral de um dos módulos de aquaponia com sistemas de recirculação utilizando leitos cultivados semissecos no tratamento de efluentes da recria de camarão-da-amazônia e produção de alface.

## Cultivo e condições hidráulicas

A performance de um sistema de recirculação com leitos cultivados semissecos no tratamento de efluentes da recria do camarão-da-amazônia e produção de alface foi avaliada. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados com três tratamentos de densidades e quatro réplicas por tratamento: T1 = 40 pós-larvas (PL) de camarões m<sup>-2</sup>, T2 = 80 PL de camarões m<sup>-2</sup> e

T3 = 120 PL de camarões  $m^{-2}$ . A massa média das pós-larvas foi de  $314 \pm 4,75$  mg e o comprimento médio de  $31,91 \pm 0,42$  mm. As pós-larvas foram alimentadas com ração comercial para camarões marinhos contendo 40% de proteína bruta, 7,5% de extrato etéreo, 4% de fibras, 17% de cinzas, 3% de cálcio e 10% de água. A taxa de alimentação foi ajustada de acordo com a taxa de crescimento dos animais, mantendo-se em 3% da biomassa. A alimentação ocorreu manualmente, três vezes ao dia, às 8h da manhã, 12h e 17h30. O cultivo teve a duração de 90 dias, ocorrendo entre agosto e outubro de 2016. Não houve troca da água e o volume do sistema foi mantido por reposição apenas do volume de água perdida por evaporação. A cada 30 dias os camarões tiveram massa corporal e comprimento total registrados para estimar o crescimento. A taxa de fluxo de recirculação de água (% de troca de água do tanque de cultivo por hora), a partir do tanque de cultivo para a unidade de tratamento e tempo de retenção da água nos leitos cultivados, foi avaliada (Lin et al., 2005).

## Amostragem e análise de dados

Os parâmetros sólidos totais dissolvidos ( $mg L^{-1}$ ), turbidez (NTU), oxigênio dissolvido ( $mg L^{-1}$ ), pH, temperatura ( $^{\circ}C$ ) e condutividade elétrica ( $mS cm^{-1}$ ) foram monitorados diariamente utilizando-se uma sonda multiparâmetros para análise de água. Amônia ( $mg L^{-1}$ ), nitrito ( $mg L^{-1}$ ), nitrato ( $mg L^{-1}$ ), potássio ( $mg L^{-1}$ ) e fosfato inorgânico dissolvido ( $mg L^{-1}$ ) foram registrados e avaliados duas vezes por semana utilizando um fotômetro multiparâmetro, em amostras coletadas em cada tanque de cultivo dos camarões. Os dados de qualidade da água e produtividade dos camarões nas diferentes densidades de estocagem foram submetidos à análise de variância (Anova) e testes de comparação de médias (Tukey, 5%), após testes de normalidade dos erros e homocedasticidade das variâncias.

## Resultados e Discussão

---

### Eficiência do sistema de tratamento de água

Vários processos abióticos e bióticos regulam a remoção de poluentes em um sistema aquapônico. Nesses processos, as reações químicas que ocorrem na água durante a decomposição da matéria orgânica, somam-se às necessi-

dades fisiológicas dos organismos cultivados e de microrganismos (bactérias, fungos, protozoários e outros) associados às raízes das plantas e ao substrato, e necessitam de cuidados com a manutenção da qualidade da água de cultivo (Shi et al., 2011). A Tabela 1 apresenta valores médios e desvio padrão dos parâmetros de qualidade da água avaliados no presente estudo. Os parâmetros temperatura, alcalinidade, oxigênio dissolvido e dureza total da água dos tanques de cultivo dos camarões variaram dentro de uma faixa estreita e não diferiram estatisticamente entre os tratamentos. O pH teve pouca oscilação, sendo ligeiramente alcalino nos tanques com 40 PL e 80 PL e quase neutro nos tanques com 120 PL. A temperatura e o pH permaneceram dentro do intervalo recomendado para o cultivo de *M. amazonicum* (Valenti et al., 2010; Marques et al., 2012), e semelhante ao observado em seu habitat natural, que mostra

**Tabela 1.** Parâmetros de qualidade de água (média ± desvio padrão) registrados na recriação de camarão-da-amazônia em diferentes densidades de estocagem (40, 80 e 120 pós-larvas m<sup>2</sup>) e produção de alface em aquaponia com leitos cultivados semissecos.

	Densidades		
	40 pós-larvas	80 pós-larvas	120 pós-larvas
Temp (°C)	28,65 ± 1,37a	28,66 ± 1,37a	28,75 ± 1,28a
pH	7,59 ± 0,81a	7,59 ± 0,62a	7,03 ± 0,84b
CE (mS cm <sup>-1</sup> )	0,16 ± 0,03a	0,16 ± 0,02a	0,18 ± 0,04b
Turbidez (NTU)	1,84 ± 1,15a	3,17 ± 1,95b	3,99 ± 1,24c
OD (mg L <sup>-1</sup> )	7,43 ± 106a	7,27 ± 0,94a	7,27 ± 0,90a
TSD (mg L <sup>-1</sup> )	0,10 ± 0,04a	0,12 ± 0,04b	0,12 ± 0,02b
NH <sub>4</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	0,36 ± 0,29a	0,64 ± 0,64b	0,76 ± 0,61c
NO <sub>2</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	0,05 ± 0,05a	0,05 ± 0,02a	0,07 ± 0,03b
NO <sub>3</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	14,2 ± 10,71a	18,04 ± 10,26a	27,4 ± 12,67b
PO <sub>4</sub> -P (mg L <sup>-1</sup> )	1,98 ± 2,20a	3,94 ± 4,22a	9,84 ± 7,17b
K <sub>2</sub> O (mg L <sup>-1</sup> )	2,71 ± 1,19a	3,11 ± 2,28a	3,26 ± 2,31a
Alcalinidade (mg L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub> )	19,00 ± 73a	20,80 ± 8,86a	25,72 ± 11,51a
Dureza (mg L <sup>-1</sup> de CaCO <sub>3</sub> )	1,05 ± 0,38a	1,32 ± 0,51a	1,18 ± 0,35a

Letras diferentes em sobrescrito mostram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) para cada parâmetro analisado. Abreviações: Temp – temperatura, pH – potencial hidrogeniônico, CE – condutividade elétrica, OD – oxigênio dissolvido, TSD – Total de sólidos dissolvidos, NH<sub>4</sub>-N – amônia total, NO<sub>2</sub>-N – nitrito, NO<sub>3</sub>-N – nitrato, PO<sub>4</sub>-P – fosfato, K<sub>2</sub>O – potássio.

temperatura entre 27,5 °C e 31 °C, oxigênio dissolvido entre 4,6 e 6,1 mg L<sup>-1</sup> e valor de pH entre 7,4 e 8,4 (Sampaio et al., 2007). Por outro lado, os parâmetros temperatura e pH não foram adequados para o cultivo das plantas de alface, que apresentam crescimento ótimo com temperaturas de cerca de 24 °C (Rakocy et al., 2013) e pH próximo ao valor neutro (7,0) (Zou et al., 2016).

Rakocy et al. (2013) recomendam que em sistemas de aquaponia a concentração de oxigênio deve ficar em torno de 5 mg L<sup>-1</sup>, pois isso favorece o máximo de saúde e crescimento de animais, plantas e bactérias nitrificantes. Neste estudo, a adição de aeradores melhorou o desempenho da área úmida global no tratamento de efluentes tal como sugerido por Zhang et al. (2011) e possibilitou a disponibilização de concentrações adequadas de oxigênio para o cultivo de *M. amazonicum*, similares ao observado em outros sistemas de aquicultura (Sampaio et al., 2007; Preto et al., 2011; Marques et al., 2012; Dutra et al., 2016).

A condutividade elétrica - CE (mS cm<sup>-1</sup>) - foi relativamente estável em todos os tratamentos, sendo estatisticamente maior nos tanques com 120 PL (P <0,05) (Tabela 1). Já os valores médios de turbidez (NTU), sólidos totais dissolvidos (STD), amônia total (NH<sub>4</sub>-N), nitrito (NO<sub>2</sub>-N), nitrato (NO<sub>3</sub>-N) e fosfato (PO<sub>4</sub>-P) foram maiores (P <0,05) nos tratamentos com 80 PL e 120 PL. Por outro lado, os parâmetros potássio (K<sub>2</sub>O), alcalinidade (mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>) e dureza (mg L<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub>) não diferiram estatisticamente entre os tratamentos de densidade.

As leituras de TSD registradas no presente estudo estavam dentro do intervalo apropriado para a biologia de *M. amazonicum*, mas não refletiram na disponibilidade de nutrientes para as exigências médias da alface. Esse vegetal, em um sistema de aquaponia, tem crescimento adequado em valores de TSD de 560-840 ppm (Zachritz et al., 2008; Sace; Fitzsimmons, 2013). Dessa forma, sugere-se que maiores quantidades de nutrientes devam ser inseridas nesse sistema para atender à demanda nutricional da alface.

O aumento da densidade de camarões contribuiu para o aumento dos compostos de nitrogênio na água, especialmente nitrato (NO<sub>3</sub>-N). No entanto, os dados de amônia total e nitrito registrados estavam abaixo dos valores relatados para o cultivo de *M. amazonicum* (Valenti et al., 2010; Nogueira et al., 2014). A concentração de nitrato na água, NO<sub>3</sub>-N, foi satisfatória para a produção de alface apenas na densidade na qual se utilizou 120 camarões. Entre os compostos nitrogenados, o nitrato é o produto final da nitrificação

e também o principal nutriente para o crescimento da aquaponia, e assim a concentração observada na água é o resultado de equilíbrio entre a nitrificação e a absorção das plantas (Zou et al., 2016).

O fósforo e o potássio são elementos cruciais no metabolismo das plantas e animais. Nas plantas, eles têm papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese, enquanto nos animais, o fósforo é componente estrutural dos ácidos nucleicos, componentes de genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolípidos. Além disso, o fósforo também desempenha papel importante nas plantas em várias reações metabólicas incluindo acumulação de nutrientes como ferro e clorofila na parte aérea e na síntese de hormônios que ajudam no desenvolvimento vegetativo (Roosta, 2014). Nos crustáceos, o potássio tem se mostrado importante na água de cultivo, principalmente nas fases iniciais de seu desenvolvimento, por estar relacionado a mecanismos de osmorregulação, sendo a concentração de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  considerada apropriada durante a larvicultura (Rezaei Tavabe et al., 2015). Até o momento não há na literatura recomendações mínimas de concentração de  $\text{K}^+$  e P em sistema de aquaponia. Entretanto, concentração de  $\text{K}^+$  acima de  $19,5 \text{ mg L}^{-1}$  tem sido considerada crítica para o desenvolvimento de alface (Maruo et al., 2004). Independente da densidade, os valores de  $\text{K}_2\text{O}$  e fosfato registrados no presente estudo estão abaixo dos valores relatados em estudos anteriores sobre a produtividade de alface em aquaponia (Nozzi et al., 2018). Em relação ao camarão, o potássio está abaixo do recomendado para o cultivo de algumas espécies do gênero *Macrobrachium* (Rezaei Tavabe et al., 2015).

A alcalinidade é um importante critério de qualidade da água na aquicultura. Quando a água tem baixa alcalinidade ( $<20 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$ ) é considerada menos adequada para o cultivo por deixar as atividades químicas da água instáveis e, por isso, devem ser adequadamente monitoradas e mantidas próximas a  $100 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$  para uma produção sustentável (Adhikari et al., 2007). Apesar das intervenções com adição de cal durante o cultivo de *M. amazonicum*, os valores de alcalinidade registrados neste estudo foram inferiores ao valor considerado adequado para essa espécie.

Nos sistemas aquapônicos, o cálcio e o magnésio são nutrientes essenciais pois tanto os animais como as plantas utilizam esses elementos em várias atividades metabólicas. Entretanto, o cálcio e o magnésio em concentrações muito

baixas ou muito altas, podem afetar negativamente o metabolismo desses organismos (Adhikari et al., 2007). Na água, esses elementos podem ser medidos através da dureza. Em geral, o camarão de água doce em água dura (50 a 200 mg L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>) tende a gastar menos energia na osmorregulação, resultando em um ótimo crescimento. Também facilitam a recuperação desses animais após a muda, tornando a carapaça rígida mais rapidamente evitando que torne o animal vulnerável ao ataque de predadores e a agressões (Adhikari et al., 2007). Neste ensaio, a dureza foi extremamente baixa em todos os tratamentos, e provavelmente pode ter influenciado a sobrevivência e o crescimento dos camarões, não sendo adequada para a cultura de *M. amazonicum* e cultivo das plantas.

## Produtividade de plantas de alface

Os resultados mostraram o potencial para o uso de nutrientes da água de cultivo do camarão na produção de alface. A Anova revelou que houve efeito interativo entre a densidade de camarão e o meio de crescimento com efeitos significativos desses parâmetros no número de folhas, massa foliar, comprimento do caule e produtividade de alface (g m<sup>-2</sup>). Plantas de alface cultivadas com água na densidade de 120 camarões e 80 camarões tiveram um número significativamente maior de folhas do que as plantas cultivadas na água com densidade de 40 camarões (Tabela 2). A massa foliar, o comprimento de caule e a produtividade de alface (g m<sup>-2</sup>) foram maiores no tratamento de 120 camarões (Tabela 2). Apenas o comprimento das raízes não diferiu estatisticamente entre os tratamentos.

Ainda que o volume de resíduos orgânicos gerados neste estudo não tenha fornecido nutrição adequada para o desenvolvimento da alface, a produção desse vegetal (número de folhas e massa foliar), conforme observado na Tabela 2, foi relativamente superior aos valores relatados por Sikawa e Yakupitiyage (2010), porém inferior aos valores reportados por Rakocy et al. (2013). Embora nenhuma solução nutritiva adicional tenha sido incluída neste ensaio, exceto a cal hidratada, a biomassa de alface obtida foi similar aos valores relatados por Castellani et al. (2009) que também investigaram a integração da cultura do camarão de água doce com um sistema hidropônico, e de Guimarães et al. (2016), que cultivaram plantas de alface usando águas residuais de uma piscicultura. Comparando esses resultados de rendimento de alface com os obtidos em um sistema tradicional de hidroponia, constatou-se que a produtividade alcançada foi substancialmente menor que os valo-

**Tabela 2.** Resposta do crescimento (média  $\pm$  desvio padrão) de plantas de alface cultivadas durante 40 dias em água do tanque de criação de camarão-da-amazônia em diferentes densidades de estocagem (40, 80 e 120 pós-larvas  $m^{-2}$ ) em um sistema de recirculação utilizando leitos cultivados semissecos.

	Densidade de estocagem		
	40 pós-larvas	80 pós-larvas	120 pós-larvas
Número de folhas	14,4 $\pm$ 2,1a	16,8 $\pm$ 2,0b	17,7 $\pm$ 1,7b
Comprimento do caule (cm planta <sup>-1</sup> )	7,1 $\pm$ 2,3a	7,3 $\pm$ 1,2a	11,8 $\pm$ 2,1b
Comprimento das raízes (cm planta <sup>-1</sup> )	9,7 $\pm$ 2,7a	10,2 $\pm$ 1,5a	9,2 $\pm$ 1,9a
Massa úmida das folhas (g planta <sup>-1</sup> )	50,97 $\pm$ 17,16a	61,57 $\pm$ 10,40a	76,15 $\pm$ 18,8b
Produtividade (g $m^{-2}$ )	1.197,06 $\pm$ 625,9a	1.385,9 $\pm$ 298,8a	1.924,57 $\pm$ 477,7b

Valores com letras diferentes mostram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ), para cada parâmetro analisado.

res reportados por Genuncio et al. (2012), indicando que os nutrientes fornecidos na recria do camarão-da-amazônia, nas densidades testadas, foram insuficientes para atender às necessidades nutricionais das plantas de alface.

## Produtividade de camarão

Os parâmetros de produtividade do camarão-da-amazônia, criado durante 90 dias em diferentes densidades de estocagem, em um sistema de recirculação utilizando leitos cultivados semissecos com alface, são apresentados na Tabela 3. O consumo de ração diferiu significativamente entre os tratamentos, aumentando conforme a densidade de estocagem. A biomassa produzida também seguiu apresentando diferenças significativas, aumentando conforme a densidade de estocagem, como esperado. A conversão alimentar aparente não mostrou diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os tratamentos, indicando que a densidade não foi um fator limitante para esse parâmetro. Resposta similar foi obtida na biomassa média individual que não diferiu significativamente entre os tratamentos (Tabela 3).

**Tabela 3.** Resposta do crescimento (média  $\pm$  desvio padrão) de pós-larvas de camarão-da-amazônia criados durante 90 dias em diferentes densidades de estocagem (40, 80 e 120 pós-larvas m<sup>-2</sup>) em um sistema de recirculação utilizando leitos cultivados semissecos com alface.

	Densidade de estocagem		
	40 pós-larvas	80 pós-larvas	120 pós-larvas
Consumo de ração (kg)	6,5 $\pm$ 3,20a	15,9 $\pm$ 3,40b	28,62 $\pm$ 2,70c
Conversão alimentar	2,37 $\pm$ 0,49a	1,55 $\pm$ 0,40a	2,04 $\pm$ 0,50a
Biomassa total (kg)	2,8 $\pm$ 2,10a	10,4 $\pm$ 1,50b	14,5 $\pm$ 1,30c
Biomassa individual (g)	1,77 $\pm$ 0,46a	1,72 $\pm$ 0,22a	1,65 $\pm$ 0,60a
Sobrevivência	40,00 $\pm$ 7,36a	76,30 $\pm$ 19,93b	71,04 $\pm$ 5,57b
Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )	283,50 $\pm$ 47,26a	1049,6 $\pm$ 134,58b	1.405,40 $\pm$ 85,34c

Valores com letras diferentes mostram diferenças significativas ( $P < 0,05$ ), para cada parâmetro analisado.

Contrariando a expectativa, a sobrevivência final foi significativamente maior nos tratamentos com maior densidade, indicando que o camarão-da-amazônia tolera o adensamento. Aparentemente, a alta densidade pode alterar a estrutura populacional dos morfotipos, promovendo quebra de hierarquia e um comportamento gregário, com redução de agressividade. A biomassa diferiu estatisticamente entre os tratamentos, sendo maior nos tratamentos com densidade de 80 e 120 camarões.

A densidade populacional de camarões é um dos fatores zootécnicos vitais que influenciam diretamente a alimentação, sobrevivência, crescimento, comportamento, saúde, produtividade e lucro (Moraes-Valenti et al., 2010; Marques et al., 2012; Henry-Silva et al., 2015). Uma relação inversa entre densidade populacional e crescimento tem sido relatada para *M. amazonicum* por diferentes autores, sugerindo que maiores densidades populacionais poderiam influenciar negativamente o rendimento final do camarão (Valenti et al., 2010; Marques et al., 2012; Henry-Silva et al., 2015). Esse fato não foi observado no presente estudo, pois a massa individual de *M. amazonicum* não diferiu significativamente ( $P > 0,05$ ) entre os tratamentos.

A sobrevivência do camarão neste ensaio foi semelhante à relatada em outros estudos (Preto et al., 2011; Marques et al., 2012; Dutra et al., 2016), sugerindo que as condições de cultivo foram adequadas para o desenvolvimento de *M. amazonicum*. A hipótese de maior sobrevivência ao lidar com baixa densidade não foi observada neste estudo, corroborando que *M. amazonicum* tolera intensificação e pode ser cultivado tanto em sistemas semi-intensivos quanto

intensivos, com alta sobrevivência e produtividade com densidades acima de 40 m<sup>-2</sup> (Moraes-Valenti et al., 2010; Marques et al., 2012).

Cabe ressaltar que esse camarão mostra uma estrutura populacional dinâmica e dependente da densidade. Aparentemente, a alta densidade pode alterar a estrutura populacional dos morfotipos, afetando a competição intraespecífica por espaço e alimento (Moraes-Valenti et al., 2010). Nossos dados sugerem que a alta densidade promoveu uma quebra de hierarquia e um comportamento gregário, com redução de agressividade. No entanto, a elevação da densidade pode ter promovido maior competição por alimento e limitado o crescimento dos camarões como sugerido por Moraes-Valenti et al. (2010).

Embora a produtividade no presente trabalho tenha sido menor que a relatada por Moraes-Valenti et al. (2010), neste estudo, nenhum substrato foi usado nos tanques de cultivo de camarão e, embora tenha espaço limitado, os resultados de produtividade demonstraram que densidades mais altas são mais produtivas. O uso de substratos e o aumento da oxigenação dos tanques podem ser uma saída interessante para ampliar a produtividade dos camarões, visto que a adição de substratos, além de ampliar a disponibilidade de espaço no tanque, permite o crescimento do perifíton, que absorve nitrogênio e fósforo, melhorando a qualidade da água e fornecendo alimento para os camarões (Henares et al., 2015).

## Conclusão

---

O sistema de recirculação de aquaponia, utilizando leitos cultivados semissecos com plantas de alface, foi satisfatoriamente eficiente no tratamento da água tornando-a apropriada para o cultivo do camarão-da-amazônia nas densidades testadas.

*Macrobrachium amazonicum* demonstrou ser uma espécie tolerante ao aumento da densidade, visto que densidades acima de 80 camarões m<sup>-2</sup> levam a uma clara quebra de hierarquia populacional, promovendo maior uniformização do tamanho do plantel cultivado.

Apesar das elevadas densidades de camarões, o volume de nutrientes fornecidos e, conseqüentemente, mineralizados e transformados, não foi suficiente para a produção adequada de alface em nível comercial. O efluente

da criação de camarão nas densidades testadas pode ser manejado em uma produção hidropônica familiar de alface, mas para uma produção comercial não é indicada, exceto se receber suplementação de nutrientes como cálcio, potássio e magnésio no sistema.

## Agradecimentos

---

Aos acadêmicos Uclédia Roberta Alberto dos Santos, Rogério Morais de Lima e Claudiana de Lima Castilho pela colaboração na montagem do Sistema de leitos cultivados semissecos e canaletas.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária pelo apoio estrutural e financeiro conforme código SEG 03.13.09.011.00.00.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro efetuado, conforme processo nº 444367/2014-4.

## Referências

---

- ADHIKARI, S.; CHAURASIA, V. S.; NAQVI, A. A.; PILLAI, B. R. Survival and growth of *Macrobrachium rosenbergii* (DeMan) juveniles in relation to calcium hardness and bicarbonate alkalinity, **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 7, p. 23–6, 2007.
- BARROS, L. C. de. **Viabilidade econômica e avaliação do ciclo de vida da produção do *Litopenaeus vannamei* e *Sarcocornia ambigua* em aquaponia com Bioflocos**. 2018. 125 f. Tese (Doutorado em Aquicultura) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/195835/PAQI0533-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 8 ago. 2019.
- CARNEIRO, P. C. F.; MORAIS, C. A. R. S.; NUNES, M. U. C.; MARIA, A. N.; FUJIMOTO, R. Y. **Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documento, 189). Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142630/1/Doc-189.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2019.
- CARRERA, L.; COTA, N.; MONTES, M.; MATEO, E.; SIERRALTA, V.; CASTRO, T.; PEREA, A.; SANTOS, C.; CATCOPARCO, C.; ESPINOZA, C. Broodstock management of the fine flounder using RAS Broodstock management of the fine flounder *Paralichthys adspersus* (Steindachner, 1867) using recirculating aquaculture systems. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 41, n. 1, p. 89-99, 2013. Disponível em: <<https://scielo.conicyt.cl/pdf/lajar/v41n1/art07.pdf>>. Acesso em: 6 ago. 2019.

CASTELLANI, D.; CAMARGO, A.; ABIMORAD, E. Aquaponia: aproveitamento do efluente do berçário secundário do Camarão-da-Amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) para produção de alface (*Lactuca sativa*) e agrião (*Rorippa nasturtium aquaticum*) hidropônicos. **Bioikos**, v. 23, n. 2, p. 67–75, 2009. Disponível em: <[http://www.caunesp.unesp.br/pesquisa/redes/artigos/AP\\_Castellani\\_et al\\_2009.pdf](http://www.caunesp.unesp.br/pesquisa/redes/artigos/AP_Castellani_et al_2009.pdf)>. Acesso em: 3 jan. 2019.

DALSGAARD, J.; LUND, I.; THORARINSDOTTIR, R.; DRENGSTIG, A.; ARVONEN, K.; PEDERSEN, P. B. Farming different species in RAS in Nordic countries : current status and future perspectives. **Aquacultural Engineering**, v. 53, p. 2–13, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.008>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

DALSGAARD, J.; PEDERSEN, L. F.; PEDERSEN, P. B. Optimizing RAS operations by new measures. **Aquacultural Engineering**, v. 78, p. 1, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.08.001>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

DUTRA, F. M.; PORTZ, L.; MORETTO, Y.; BALLESTER, E. L. C. Pen culture of *Macrobrachium amazonicum*: use of artificial diet and impact on benthic community. **Aquaculture Research**, v. 47, n. 1, p. 266–275, 2016. Disponível em: <[https://www.academia.edu/16574519/Pen\\_culture\\_of\\_Macrobrachium\\_amazonicum\\_use\\_of\\_artificial\\_diet\\_and\\_impact\\_on\\_benthic\\_community](https://www.academia.edu/16574519/Pen_culture_of_Macrobrachium_amazonicum_use_of_artificial_diet_and_impact_on_benthic_community)>. Acesso em: 3 jan. 2019.

EMERENCIANO, M. G. C.; MELLO, G. I.; PINHO, S. M.; MOLINARI, D.; BLUM, M. N. Aquaponia: uma alternativa de diversificação na aquicultura. **Panorama da Aquicultura**, v. 25, p. 24-35, 2015. Disponível em: <<https://panoramadaaquicultura.com.br/aquaponia-uma-alternativa-de-diversificacao-na-aquicultura/>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

GENUNCIO, G. da C.; GOMES, M.; FERRARI, A. C.; MAJEROWICZ, N.; ZONTA, E. Hydroponic lettuce production in different concentrations and flow rates of nutrient solution. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 526–530, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-05362012000300028&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362012000300028&lng=en&tlng=en)>. Acesso em: 3 jan. 2019.

GRANJA, R. P. **Análise de viabilidade econômica de implantação de uma aquaponia no município de Santa Cruz das Palmeiras - SP**. 2018. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Pirassununga.

GUIMARÃES, I. P. ; OLIVEIRA, F. de A. de; TORRES, S. B.; PEREIRA, F. E. C. B.; FRANÇA, F. D. de; OLIVEIRA, M. K. T. de. Use of fish-farming wastewater in lettuce cultivation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 8, p. 728–733, 2016. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v20n8/1415-4366-rbeaa-20-08-0728.pdf>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

HENARES, M. N. P.; PRETO, B. de L.; ROSA, F. R. T.; VALENTI, W. C.; CAMARGO, A. F. M. Effects of artificial substrate and night-time aeration on the water quality in *Macrobrachium amazonicum* (Heller 1862) pond culture. **Aquaculture Research**, v. 46, n. 3, p. 618–625, 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/264737596\\_Effects\\_of\\_artificial\\_substrate\\_and\\_nighttime\\_aeration\\_on\\_the\\_water\\_quality\\_in\\_Macrobrachium\\_amazonicum\\_Heller\\_1862\\_pond\\_culture](https://www.researchgate.net/publication/264737596_Effects_of_artificial_substrate_and_nighttime_aeration_on_the_water_quality_in_Macrobrachium_amazonicum_Heller_1862_pond_culture)>. Acesso em: 3 jan. 2019.

HENRY-SILVA, G. G.; MAIA, C. S. P.; MOURA, R. S. T.; BESSA JUNIOR, A. P.; VALENTI, W. C. Integrated multi-trophic culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum*) in brackish water. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 1, p. 265–273, 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/abmvz/v67n1/0102-0935-abmvz-67-01-00265.pdf>>. Acesso em: 3 jan. 2019.

JORDAN, R. A.; GEISENHOF, L. O.; OLIVEIRA, F. C. de; 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. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662018000100027&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662018000100027&lng=en&tlng=en)>. Acesso em 3 jan. 2019.

LIN, Y. F.; JING, S. R.; LEE, D. Y.; CHANG, Y. F.; CHEN, Y. M.; SHIH, K. C. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. **Environmental Pollution**, v. 134, n. 3, p. 411–421, 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749104003872#!>>. Acesso em 5 jan. 2019.

LOVE, D. C.; FRY, J. P.; LI, X.; HILL, E. S.; GENELLO, L.; SEMMENS, K.; THOMPSON, R. E. Commercial aquaponics production and profitability: findings from an international survey. **Aquaculture**, v. 435, p. 67–74, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.023>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

MARQUES, H. L. de A.; BARROS, H. P.; MALLASEN, M.; BOOCK, MARCELLO VILLAR; VALENTI, P. M. C. M. Influence of stocking densities in the nursery phase on the growth of *Macrobrachium amazonicum* reared in net pens. **Aquaculture**, v. 358–359, p. 240–245, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.06.011>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

MARTINS, C. I. M.; EDING, E. H.; VERRETH, J. A. J. The effect of recirculating aquaculture systems on the concentrations of heavy metals in culture water and tissues of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. **Food Chemistry**, v. 126, n. 3, p. 1001–1005, jun. 2011. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308814610015268>>. Acesso em: 6 ago. 2019.

MARUO, T.; TAKAGAKI, M.; SHINOHARA, Y. Critical nutrient concentrations for absorption of some vegetables. **Acta Horticulturae**, n. 644, p. 493–499, 2004. Disponível em: <[https://www.actahort.org/books/644/644\\_66.htm](https://www.actahort.org/books/644/644_66.htm)>. Acesso em: 8 ago. 2019.

MERCANTE, C. T. J.; CARMO, C. F. do; RODRIGUES, C. J.; OSTI, J. A. S.; PINTO, C. S. M.; VAZ-DOS-SANTOS, A. M.; TUCCI, A.; DI GENARO, A. C. Limnologia de viveiro de criação de tilápias do nilo: Avaliação diurna visando boas práticas de manejo. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 37, n. 1, p. 73–84, 2011. Disponível em:<[https://www.pesca.agricultura.sp.gov.br/37\\_p1\\_73-84.pdf](https://www.pesca.agricultura.sp.gov.br/37_p1_73-84.pdf)>. Acesso em: 4 jan. 2019.

MORAES-VALENTI, P.; MORAIS, P. A. de; PRETO, B. de L.; VALENTI, W. C. Effect of density on population development in the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*. **Aquatic Biology**, v. 9, p. 291–301, 2010. Disponível em:<<https://www.int-res.com/articles/ab2010/9/b009p291.pdf>>. Acesso em 4 jan. 2019.

NOGUEIRA, M.; PINTO, F. de R.; NUNES, A. P.; GUARIZ, C. S. L.; AMARAL, L. A. Effluents quality during the growout phase of the amazon shrimp *Macrobrachium amazonicum*. **Ciencia Animal Brasileira**, v. 15, n. 2, p. 159–167, 2014. Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/cab/v15n2/a06v15n2.pdf>>. Acesso em: 4 jan. 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. 3, p. 27, 2018. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2073-4395/8/3/27>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

PRETO, B. D. L.; KIMPARA, J. M.; MORAES-VALENTI, P.; TITO ROSA, F. R.; VALENTI, W. C. Production strategies for short term grow-out of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum* (Heller 1862) in ponds. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 6, n. 1, p. 1–8, 2011. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/72989>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

RAKOCY, J.; BAILEY, D.; SHULTZ, C.; DANAHER, J. **Design and operation of the UVI Aquaponic System**. Virgin Islands: University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station, 2013. 48 p. Disponível em:<[https://www.uvi.edu/files/documents/Research\\_and\\_Public\\_Service/WRRRI/UVIAquaponicSystem.pdf](https://www.uvi.edu/files/documents/Research_and_Public_Service/WRRRI/UVIAquaponicSystem.pdf)>. Acesso em: 4 jan. 2019.

REZAEI TAVABE, K.; RAFIEE, G.; SHOEIRY, M. M.; HOUSHMANDI, S.; FRINSKO, M.; DANIELS, H. Effects of Water Hardness and Calcium: Magnesium Ratios on Reproductive Performance and Offspring Quality of *Macrobrachium rosenbergii*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 46, n. 5, p. 519–530, 2015. Disponível em:<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jwas.12217>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

ROOSTA, H. R. Effects of foliar spray of K on mint, radish, parsley and coriander plants in Aquaponic system. **Journal of Plant Nutrition**, v. 37, n. 14, p. 2236–2254, 2014. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01904167.2014.920385>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

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*). **Academia Journal of Agricultural Research**, v. 1, n. 12, p. 236–250, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15413/ajar.2013.0138>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

SAMPAIO, C. M. S.; SILVA, R. R.; SANTOS, J. A.; SALES, S. P. Reproductive cycle of *Macrobrachium amazonicum* females (Crustacea, Palaemonidae). **Brazilian Journal of Biology**, v. 67, n. 3, p. 551–559, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-69842007000300022](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842007000300022)>. Acesso em: 4 jan. 2019.

SHI, Y. ZHANG, G., LIU, J., ZHU, Y., XU, J. Performance of a constructed wetland in treating brackish wastewater from commercial recirculating and super-intensive shrimp growout systems. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 20, p. 9416–9424, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.07.058>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

SIKAWA, D. C.; YAKUPITIYAGE, A. The hydroponic production of lettuce (*Lactuca sativa* L) by using hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) pond water: Potentials and constraints. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 9, p. 1317–1325, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2010.03.013>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

VALENTI, P. M.; MORAIS, P. A. de; PRETO, B. de L.; VALENTI, W. C. Effect of density on population development in the Amazon River Prawn *Macrobrachium amazonicum*. **Aquatic Biology**, v. 9, n. 3, p. 291–301, 2010. Disponível em: <<https://www.int-res.com/articles/ab2010/9/b009p291.pdf>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

ZACHRITZ, W. H.; HANSON, A. T.; SAUCEDA, J. A.; FITZSIMMONS, K. M. Evaluation of submerged surface flow (SSF) constructed wetlands for recirculating tilapia production systems. **Aquacultural Engineering**, v. 39, n. 1, p. 16–23, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860908000228#!>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

ZHANG, S. Y.; LI, G.; WU, H.-B.; LIU, X.-G.; YAO, Y.-H.; TAO, L.; LIU, H. An integrated recirculating aquaculture system (RAS) for land-based fish farming: The effects on water quality and fish production. **Aquacultural Engineering**, v. 45, n. 3, p. 93–102, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860911000471#!>>. Acesso em: 4 jan. 2019.

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, n. 3, p. 81–87, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415017198>>. Acesso em: 4 jan. 2019.



**Embrapa**

---

**Amapá**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA  
**BRASIL**  
GOVERNO FEDERAL

CGPE 15743