

## **Avaliações fisiológicas e biométricas da alface cultivada em sistema aquapônico sob diferentes condições**

**Physiological and biometric evaluations of lettuce grown in an aquaponic system under different conditions**

**Evaluaciones fisiológicas y biométricas de lechugas cultivadas en un sistema acuapónico bajo diferentes condiciones**

Recebido: 03/07/2023 | Revisado: 21/07/2023 | Aceitado: 26/07/2023 | Publicado: 30/07/2023

**Jacyr Lora**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7361-5968>  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil  
E-mail: [jacyrlora@gmail.com](mailto:jacyrlora@gmail.com)

**Leonardo Nazário Silva dos Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3951-3888>  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil  
E-mail: [leonardo.santos@ifgoiano.edu.br](mailto:leonardo.santos@ifgoiano.edu.br)

**Marconi Batista Teixeira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0152-256X>  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil  
E-mail: [marconi.teixeira@ifgoiano.edu.br](mailto:marconi.teixeira@ifgoiano.edu.br)

**Vitor Marques Vidal**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5179-6684>  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil  
E-mail: [vmarquesvidal@gmail.com](mailto:vmarquesvidal@gmail.com)

**Wilker Alves Morais**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2336-6518>  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil  
E-mail: [wilker.alves.morais@gmail.com](mailto:wilker.alves.morais@gmail.com)

**Frederico Antônio Loureiro Soares**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4152-5087>  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil  
E-mail: [frederico.soares@ifgoiano.edu.br](mailto:frederico.soares@ifgoiano.edu.br)

**Adriano Carvalho Costa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1279-9756>  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil  
E-mail: [adriano.costa@ifgoiano.edu.br](mailto:adriano.costa@ifgoiano.edu.br)

### **Resumo**

Com o objetivo de analisar as características fisiológicas e nutricionais da alface cultivada na aquaponia, foi montado um experimento nas unidades do Departamento de Irrigação e Drenagem do IF Goiano, Campus Rio Verde/Goiás. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial 3 x 2, em dois ciclos, com três repetições. Ao final do ciclo, as análises foram realizadas e os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, pelo Teste de Tukey, utilizando o SISVAR®. Foi observado que os maiores valores alcançados foram para um volume de material filtrante de 70 L e para uma população de 30 peixes. Tanto para macro quanto para micronutrientes, foi observado que uma população de 30 peixes e um maior volume de biofiltro são mais adequados. Variações significativas de nutrientes, foram devidas ao fato de estes terem sido descartados juntamente com o excesso de resíduos retirados dos decantadores ou por terem sofrido precipitação devido aos altos valores de pH. A utilização de um biofiltro com maior capacidade, é importante para manter os níveis de qualidade da água adequados, quer seja pela redução do pH ou amônia.

**Palavras-chave:** *Oreochromis niloticus*; *Lactuca sativa*; Alface aquapônica; Variáveis fisiológicas de alface; Análises nutricionais da alface; Cultivo aquapônico do cerrado.

### **Abstract**

Producing food in a practical, sustainable and inclusive way are some of the advantages that the aquaponic system, which provides, however, studies on productive performance in the Brazilian Midwest are scarce. Thus, the present study aimed to analyze the physiological and nutritional characteristics of lettuce grown in aquaponics. For this, an experiment was carried out in the units of the Department of Irrigation and Drainage of IF Goiano, Rio Verde/Goiás

Campus, consisting of reservoir (1 m<sup>3</sup>), decanter, biological filter, pump and aerator, in addition to six hydroponic gutters in each experimental unit, which housed 11 plants/trough. The experimental design was completely randomized, in a factorial arrangement with three fish populations (PP30=30, PP60=60 and PP90=90 fish w/m<sup>3</sup>) and two volumes of filter material (VF40=40 and VF60=60), for the first cycle and (VF50=50 and VF70=70 liters of expanded clay), for the second cycle, with three replications. Physiological analyses and biometric variables were analyzed at 45 after sowing. The data obtained were submitted to variance analysis and, when necessary, the means were compared by the Tukey Test, using the SISVAR<sup>®</sup> computer program. Due to what was analyzed, we can say that the highest values achieved for physiological parameters were for a volume of filter material of 70 L. In relation to the fish population, we observed that a population of 30 fish, presented satisfactory results. Biometric parameters, the highest means were achieved with a lower volume of filter material for a population of 30 fish. For macronutrients, the highest values were achieved with a higher volume of filter material for a population of 30 fish. For micronutrients, it was observed that a population of 30 fish is sufficient to ensure a good development of lettuces, with a biofilter with a minimum capacity of 50 liters. Significant variations in macro and micronutrients were observed, supposedly because they were discarded along with excess residues taken from decanters or because they suffered precipitation due to high pH values. The use of a biofilter with greater capacity is important to maintain adequate water quality levels, whether by reducing pH or ammonia.

**Keywords:** *Oreochromis niloticus*; *Lactuca sativa*; Aquaponic lettuce; Physiological lettuce variables; Nutritional analyses of lettuce; Cerrado aquaponic cultivation.

### Resumen

Con el objetivo de analizar las características fisiológicas y nutricionales de las lechugas cultivadas en acuaponía, se montó un experimento en las unidades del Departamento de Irrigación y Drenaje de la IF Goiano, Campus Rio Verde/Goiás. El diseño experimental fue completamente al azar, en arreglo factorial 3 x 2, en dos ciclos, con tres repeticiones. Al final del ciclo, se realizaron los análisis y los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza, por la Prueba de Tukey, utilizando SISVAR<sup>®</sup>. Se observó que los valores más altos alcanzados fueron para un volumen de material filtrante de 70 L y para una población de 30 peces. Tanto para macro como para micronutrientes, se observó que una población de 30 peces y un mayor volumen de biofiltro son más adecuados. Las variaciones significativas de los nutrientes se debieron a que se descartaron junto con los residuos sobrantes retirados de los decantadores o porque sufrieron precipitaciones por los altos valores de pH. El uso de un biofiltro con mayor capacidad es importante para mantener niveles adecuados de calidad del agua, ya sea reduciendo el pH o el amoníaco.

**Palabras clave:** *Oreochromis niloticus*; *Lactuca sativa*; Lechuga acuapónica; Variables fisiológicas de la lechuga; Análisis nutricional de la lechuga; Cultivo acuapónico en el cerrado.

## 1. Introdução

A lei que prevê o direito a todos a uma alimentação saudável e permanente, não faz referência aos princípios e técnicas que permeiam os fatores envolvidos nas cadeias produtivas para garantir que a segurança alimentar seja mantida à população. Como se estivesse implícito, é preciso produzir. A questão é, como isto será feito? Como atender à demanda adicional, crescente, por alimentos, se não aprimorarmos as estratégias de gestão hídricas? Sim porque, a produção de alimentos está diretamente relacionada ao consumo da água. Outro fator preocupante é que não faz menção sobre o que produzir?

A exemplo do que acontece no mundo inteiro, no Brasil, multiplicam-se projetos recheados de eficiências e abundâncias. Quando o foco é produzir para garantir a segurança alimentar do crescente contingente humano, sem esgotar ou degradar os recursos não renováveis, tais como a água, o solo ou cobertura vegetal, todo processo inovador que venha garantir a produção de alimentos, é bem-vindo.

Sendo conhecida há mais de dois mil anos, a Aquaponia é um sistema de produção que conjuga simbioticamente, peixes, plantas e bactérias (Knaus & Palm, 2017). Neste ambiente, onde a água é o meio comum, as bactérias tem um papel fundamental, pois são elas que irão reduzir os excretos nitrogenados dos peixes e restos de ração, em compostos assimiláveis pelas plantas (Rakocy, 2012) As plantas, por sua vez, filtram a água, absorvendo nutrientes, tornando o ambiente favorável para os peixes. Os nutrientes necessários ao seu crescimento e desenvolvimento, derivam das excretas dos animais aquáticos, que depois de mineralizadas pelas bactérias nitrificadoras, ficam diluídos na água e são, prontamente assimiláveis. Não só as Nitrosomonas e Nitrobacter, também Nitrosococcus e Annamox.

Não necessitando de grandes espaços para a sua instalação, a aquaponia pode ser instalada junto aos centros urbanos, conforme observado por König et al. (2016). A reutilização da água é uma grande vantagem que o sistema proporciona. Conforme Dalsgaard et al. (2013), a economia de água pode chegar a 95%, quando comparada com outros sistemas de produção.

Goddek et al. (2019), sinalizaram que a aquaponia, além de garantir a produção de proteínas e vegetais, atende as premissas de sustentabilidade, utilizando menos terra, menos energia e menos água, economizando fertilizantes químicos e sem a utilização de agrotóxicos.

O cerrado brasileiro é uma região de temperaturas médias anuais, acima dos 20° Celsius. A alface, por ser uma hortaliça originária de regiões amenas, fica muito sujeita a estresses quando cultivada sob altas temperaturas. A alta irradiância e baixa umidade do ar também podem comprometer a sua fisiologia (Henz & Suinaga, 2009).

O ciclo curto e o uso do cultivo protegido aliados aos intensos trabalhos de melhoramento genético dessa folhosa, permitiram o desenvolvimento de inúmeras cultivares adaptadas ao cultivo durante todo o ano, intensamente. (Nick & Borém, 2019).

As espécies animais mais adequadas na América do Sul, segundo Pinho et al. (2021), são a tilápia e o bagre, muito embora outras espécies possam também ser utilizadas.

Considerando a demanda regional por alface e tilápia o presente trabalho objetivou analisar a melhor relação entre o volume de material filtrante e a população de peixes.

## **2. Metodologia**

### **2.1 Área experimental**

O experimento foi conduzido no Instituto Federal Goiano, Campus de Rio Verde, no período de janeiro a dezembro de 2020. As coordenadas geográficas da área experimental são 17°48'28'' S e 50°53'57'' O, com altitude média de 720 m do nível do mar.

Os parâmetros agrometeorológicos monitorados durante a condução do experimento, nos foram fornecidos pelo INMET (1981-2010). As precipitações médias anuais foram de 1612,9 mm anuais e a temperatura média foi de 23°C.

### **2.2 Delineamento experimental**

O delineamento experimental adotado, foi inteiramente ao acaso, em arranjo fatorial com três populações de peixes, sendo (PP30=30; PP60 = 60; PP90 = 90 peixes reservatório<sup>-1</sup> e dois volumes de material filtrante, sendo (VF40=40 e VF60=60) para o primeiro ciclo e (VF50 = 50 e VF70 = 70 litros de argila expandida), para o segundo ciclo, com três repetições, totalizando 18 parcelas experimentais.

### **2.3 Implantação e condução experimental**

#### **a. Ambiente experimental**

O local do experimento foi coberto com tela de sombreamento com índice de proteção de 50% com fio de polietileno, dezoito caixas d'água, com capacidade de 1 m<sup>3</sup> cada uma, constituindo assim, dezoito tratamentos, conjugadamente instaladas sobre estrado de madeira. As calhas foram instaladas com 2% de declividade, a fim de que a água escoasse por gravidade. Compunham ainda o sistema, seis perfis de polipropileno, com 4.5 m de comprimento, distanciados a cada 15 cm e com 15 cm entre os orifícios e 11 plantas por perfil. Para o crescimento inicial das mudas, houve um berçário (bancada de desenvolvimento) com 15 perfis de polipropileno, nas mesmas dimensões. O sistema contou ainda, com um filtro biológico e um sistema decantador, cada qual com 0,2 m<sup>3</sup> uma bomba com vazão de 2700 L/h.

A partir do reservatório, a água passava pelo decantador, pela parte inferior da bombona, através do *overflow*. A seguir, a água era transferida para o biofiltro, sendo após, bombeada para os canais de cultivo. O excesso de resíduos era retirado com o auxílio de uma peneira.

A oxigenação do sistema foi feita por um Aerador Soprador, com capacidade de 1,5 cv, distribuído igualmente em todos os tratamentos. Na figura 1, pode-se ver o sistema aquapônico instalado.

**Figura 1** - Sistema aquapônico: em (A), os perfis, em (B), o reservatório, em (C), o decantador e em (D), o filtro biológico.



Fonte: Acervo pessoal.

#### **b. Produção das mudas**

Foram utilizadas 650 sementes nuas, para cada ciclo, da variedade Vanda. Preventivamente, foi produzido 10% a mais, de mudas, para o caso de necessidade de replantio. As mudas foram produzidas em espuma fenólica, 2x2 cm, tendo sido colocadas 12 sementes por célula hidropônica onde, após a quebra da dormência, foram irrigadas com solução nutritiva recomendada por Furlani(1997). Na célula hidropônica, as mudinhas ficaram sete dias, sendo depois levadas ao berçário, onde ficaram mais sete dias. Após esse período, quando as plantas apresentaram 3 a 4 folhas, foram transplantadas ao local definitivo, nos perfis de crescimento. Na Figura 2A, pode-se ver a alface germinada na espuma fenólica; na Figura 2B, as mudas prontas para o berçário; em 2C, as mudas já transplantadas no berçário e em 2D, as mudas em pleno crescimento e o sistema hidropônico instalado.

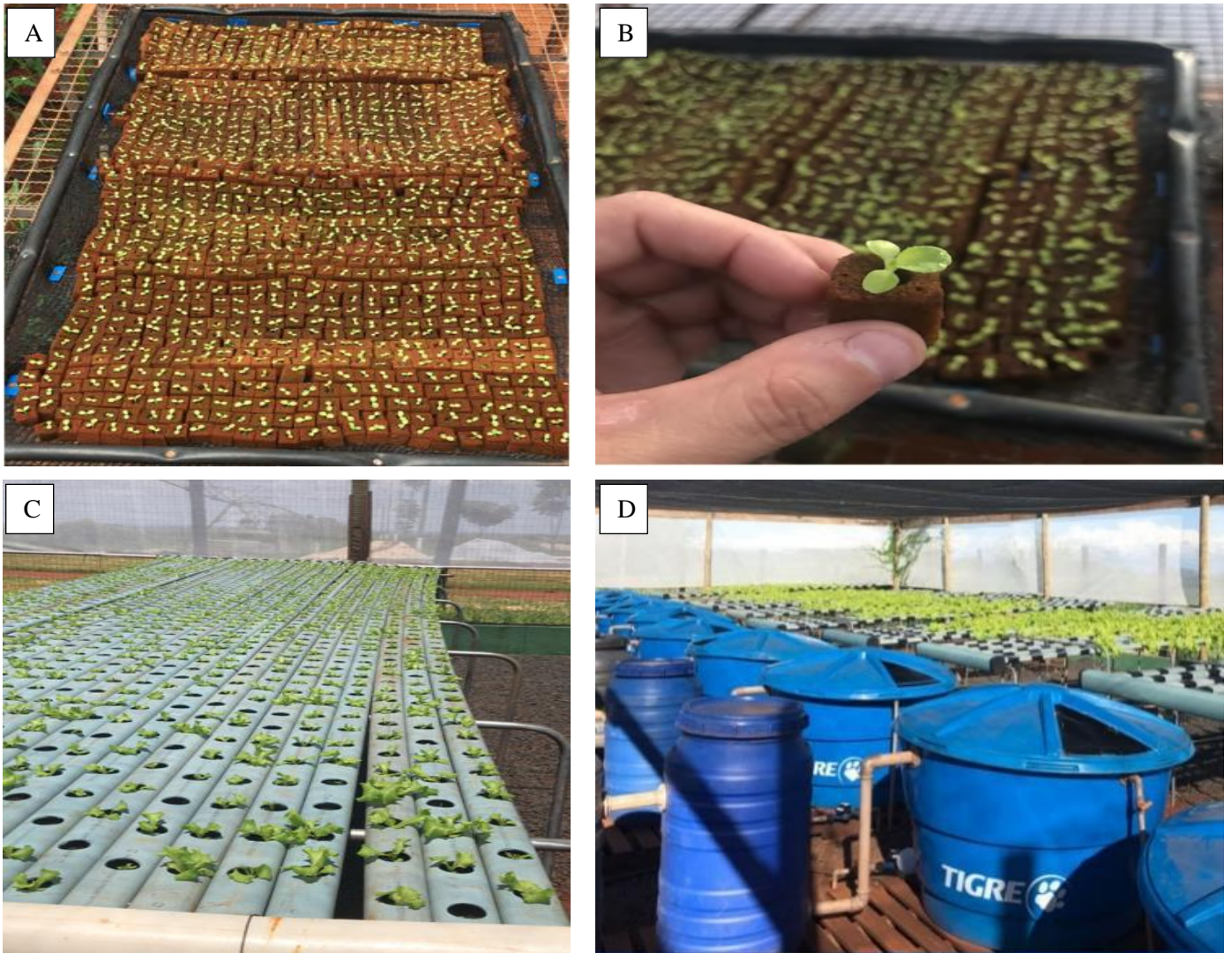
#### **c. Origem da água**

A água utilizada era proveniente de um poço artesiano, mantida sem nenhum tratamento, durante todo o ciclo da cultura. Os valores de pH, nitrito, nitrato e amônia, estão descritos nas tabelas 7 e 8, tanto para o ciclo I, quanto para o ciclo II.

#### **d. Espécie dos peixes**

A espécie de peixe utilizada foi a *Oreochromis niloticus*, a tilápia do Nilo. Os peixes, com peso aproximado de 90 gramas, foram colocados nas caixas, uma semana antes do transplante das alfaces, a fim de as bactérias nitrificadoras se alojassem no material filtrante e iniciassem a sua função. Os peixes foram alimentados 2x ao dia, com ração comercial extrusada, com 37% de proteína bruta. As excretas produzidas pelos peixes, passavam pelo decantador e após, para o filtro biológico, onde as bactérias nitrificadoras, mineralizavam os compostos nitrogenados em produtos mais simples, liberando os nutrientes que, diluídos na água, ficavam disponíveis às plantas.

**Figura 2** – Mudanças de plantas e Sistema hidropônico.



Fonte: Acervo pessoal.

### e. Operações e manejo do sistema

Durante todo o experimento foram realizadas operações de manutenção, quer sejam, de limpeza das tubulações e bombas, com a utilização de jatos d'água. Diariamente, foram monitorados todos os componentes, visando a substituição de alguma peça ou desentupimento. Semanalmente, foram realizadas operações de retirada do excesso de material sólido dos decantadores, pela utilização de uma peneira. Ainda, todas as semanas, verificava-se o volume de água para repor o que era perdido por evaporação.

## 2.4 Variáveis analisadas

### 2.4.1 Variáveis fisiológicas

Ao final do ciclo, 45 DAP, no horário das 07:30 às 11:00 h, foram realizadas as análises de trocas gasosas utilizando um analisador de gases do infravermelho (modelo Li6800 LiCOR) para obtenção da taxa fotossintética líquida ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), concentração interna de  $\text{CO}_2$  na câmara subestomática ( $C_i$ -ppm), taxa transpiratória ( $E$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $g_{sw}$ - $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Estas variáveis foram utilizadas para calcular a eficiência instantânea de carboxilação ( $A/C_i$ ). As análises foram realizadas, sempre, numa folha da alface completamente expandida, localizada na posição mediana da planta,

sob condições de constantes de irradiância ( $1500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), temperatura ( $25^\circ\text{C}$ ) e concentração ambiente de  $\text{CO}_2$  (400 ppm) na câmara foliar.

#### 2.4.2 Variáveis biométricas

No final do ciclo, aos 45 DAP, foram colhidas uma amostra de cada tratamento e avaliados os seguintes fatores biométricos e bromatológicos: Diâmetro da planta em cm (DP) – maior distância entre as extremidades da planta; Diâmetro do caule (Dcaule) em cm; Número de folhas; Massa fresca – g/planta (MFFo) em gramas; Massa seca – g/planta (MSFo) em gramas. Para obtenção da massa fresca e massa seca, foram retiradas as raízes, as folhas despigmentadas, necróticas e mortas, bem como, atacadas por doenças ou pragas. Para a análise, foram consideradas apenas as folhas inteiras, do nódulo caulinar ao ápice.

Para a determinação do Dcopa e Dcaule, foi utilizado uma fita métrica, graduada em cm. Para a determinação da MF, utilizou-se uma balança analítica. Para a obtenção da MS, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas numa estufa com circulação forçada, sob temperatura de  $65^\circ\text{C}$ , durante 72 h, até alcançarem os valores de massa constante, sendo então determinados seus pesos em balança de precisão.

#### 2.5 Declaração de Ética

De acordo com o que estabelece a Lei 11.794 de 08 de outubro de 2008 e o Decreto Nº6.899 de 15 de julho de 2009, bem como, de acordo com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CNECA), o estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais do Instituto Federal Goiano (CEUA/IF Goiano).

#### 2.6 Análises estatísticas

Apesar do experimento ser quantitativo, devido não ter dados suficientes para gerar uma regressão, primeiramente foi feito o levantamento do banco de dados, a correção dos dados discrepantes pela média. A seguir, os dados foram submetidos à análise de variância pelo Teste F ao nível de 5% de probabilidade, selecionando as variáveis que foram normais para o teste de médias (Tukey). Após, geramos a ANAVA, com software SISVAR®, selecionando os dados significativos, para gerar as tabelas.

### 3. Resultados

Nas Tabelas 1 e 2 podemos observar as variáveis fisiológicas das alfaces, onde, para a variável taxa transpiratória ( $E$ ), no ciclo I, houve diferença significativa em todas as populações de peixes em relação ao volume de material filtrante. Com relação ao volume de material filtrante de 40L (VF40), a média máxima foi para população de peixes de 90 (PP90) e a mínima para a população de peixes de 30 (PP30). Já para o volume de material filtrante de 60 (VF60), as populações de peixes de 30 (PP30) e de 60 (PP60), foram estatisticamente iguais, sendo superiores à população de peixes de 90 (PP90). No ciclo II, o comportamento foi idêntico ao ciclo I. Houve diferença significativa em todas as populações de peixes em relação ao volume de material filtrante. Com relação aos volumes de material filtrante de 50L (VF50), e 70L (VF70), as maiores médias foram para o (VF70), para todas as populações de peixes.

**Tabela 1** - Resumo da ANAVA dos ciclos I e II da população de peixes (PP) e volume de material filtrante (VF) para as variáveis fisiológicas taxa respiratória ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), taxa fotossintética ( $A$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), condutância estomática ( $G_{sw}$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), relação concentração interna/ concentração externa de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_e$ ) e relação da taxa fotossintética/ concentração externa de  $\text{CO}_2$  ( $A/C_i$ ).

FV	GL	Quadrados Médios				
		$E$	$A$	$G_{sw}$	$C_i/C_e$	$A/C_i$
<b>Ciclo I</b>						
PP	2	42,21**	42,65**	0,0267 <sup>ns</sup>	0,0005 <sup>ns</sup>	0,000272**
VF	1	7,50**	1,09 <sup>ns</sup>	0,0107 <sup>ns</sup>	0,0016 <sup>ns</sup>	0,000000 <sup>ns</sup>
PP*VF	2	24,98**	1,11 <sup>ns</sup>	0,1524**	0,0045 <sup>ns</sup>	0,000050 <sup>ns</sup>
BLOCO	2	0,64 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	0,0080 <sup>ns</sup>	0,0043 <sup>ns</sup>	0,000039 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	10	0,48 <sup>ns</sup>	0,49 <sup>ns</sup>	0,0082 <sup>ns</sup>	0,0019 <sup>ns</sup>	0,000019 <sup>ns</sup>
CV (%)		8,44	8,46	18,91	4,92	19,56
<b>Ciclo II</b>						
PP	2	13,47**	18,69**	0,0633**	0,00031 <sup>ns</sup>	0,000072 <sup>ns</sup>
VF	1	111,85**	2,31**	1,0320**	0,00035 <sup>ns</sup>	0,000356*
PP*VF	2	2,90*	73,75**	0,2451**	0,00283 <sup>ns</sup>	0,000239*
BLOCO	2	1,06 <sup>ns</sup>	2,16**	0,0147 <sup>ns</sup>	0,00095 <sup>ns</sup>	0,000139 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	10	0,51	0,21	0,0071	0,00258 <sup>ns</sup>	0,000046
CV (%)		4,90	2,66	6,87	5,67	12,92

FV = fator de variação; GL = grau de liberdade; PP = população de peixes, VF = volume de material filtrante, PP\*VF = população de peixes \* volume de material filtrante; CV = coeficiente de variação. Fonte: Autores.

No parâmetro condutância estomática ( $G_{sw}$ ), no ciclo I, houve diferenças significativas para todas as populações de peixes em relação ao volume de material filtrante. Com relação ao volume de material filtrante de 40L (VF40), as médias máximas foram para população de peixes de 60 (PP60) e 90 (PP90), sendo, respectivamente, estatisticamente iguais e superiores à população de peixes de 30 (PP30). Com relação ao volume de material filtrante de 60L (VF60), as populações de peixes de 30 (PP30) e 60 (PP60), foram estatisticamente iguais, sendo superiores à população de 90 (PP90).

**Tabela 2** - Desdobramento da interação de população de peixes (PP) dentro de cada nível de volume de material filtrante (VF, litros) para taxa respiratória ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e condutância estomática ( $G_{sw}$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) para o ciclo I e para taxa respiratória ( $E$ ,  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) taxa fotossintética ( $A$ ), condutância estomática ( $G_{sw}$  e relação taxa fotossintética com concentração interna de  $\text{CO}_2$  ( $A/C_i$ ) do sistema aquapônico.

VF	PP		
	30	60	90
<b>Ciclo I</b>			
$E$			
40	5,38 cB	10,02 aB	7,42 bA
60	10,26 bA	12,17 aA	4,27 cB
$G_{sw}$			
40	0,28 bB	0,54 aA	0,54 aA
60	0,67 aA	0,55 aA	0,29 bB
<b>Ciclo II</b>			
$E$			
50	13,41 aB	11,51 bB	11,61 bB
70	19,13 aA	17,36 bA	14,99 cA
$A$			
50	21,61 aA	19,64 bA	11,82 cB
70	14,82 cB	17,33 bB	18,78 aA
$G_{sw}$			
50	1,29 aA	0,82 bB	0,86 bB
70	1,35 bA	1,68 aA	1,37 bA
$A/C_i$			
50	0,06 aA	0,05 aA	0,05 aA
70	0,03 bB	0,05 aA	0,05 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem dentro da população de peixes (PP) e letras maiúsculas iguais não diferem entre volume de material filtrante (VF) a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Para o ciclo II, houve diferença significativa para todas as populações de peixes em relação ao volume de material filtrante. Com relação ao volume de material filtrante de 50L (VF50), a maior média foi para a população de peixes de 30 (PP30), sendo que as populações de 60 (PP60) e 90 (PP90), foram estatisticamente iguais.

No ciclo II, a taxa fotossintética (A), apresentou diferenças significativas para todas as populações de peixes em relação aos volumes de material filtrante. Com relação ao volume de material filtrante de 50L (VF50), as populações de 30 (PP30) e 60 (PP60), tiveram médias estatisticamente iguais e superiores à população de 90 (PP90). Já para o volume de material filtrante de 70L (VF70), a maior média foi para a população de peixes de 90 (PP90), sendo que as populações de 30 (PP30) e 60 (PP60), foram estatisticamente iguais.

Ainda no ciclo II, analisando a eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci), para o volume de material filtrante de 50 (VF50), as médias foram estatisticamente iguais para todas as populações de peixes. Houve diferença significativa apenas para o volume de material filtrante de 70 (VF70). Para o volume de material filtrante de 50L (VF50), as médias foram estatisticamente iguais para todas as densidades de peixes. Já para o volume de material filtrante de 70L (VF70), as médias máximas foram para as populações de peixes de 60 (PP60) e 90 (PP90), que foram estatisticamente iguais. A mínima foi para PP30.

Na Tabela 3, estão apresentados os dados que foram significativos em relação à população de peixes, no ciclo I, quer sejam a taxa fotossintética(A) e a Eficiência Instantânea de Carboxilação(A/Ci). Conforme pode-se observar, as maiores médias foram para uma população de peixes de 30, PP30.

**Tabela 3** - Variáveis fisiológicas do ciclo I e taxa fotossintética (A) e Eficiência Instantânea de Carboxilação (A/Ci) para população dos peixes (PP) em sistema aquapônico.

PP	A	A/Ci
30	11,35 a	0,030 a
60	6,58 b	0,018 b
90	6,89 b	0,018 b

Fonte: Autores.

Na Tabela 4, estão apresentados resultados obtidos para diâmetro da copa(DCo), número de folhas(NFo), diâmetro do caule(DCa), massa fresca das folhas(MFFo) e massa seca das folhas(MSFo) de alfaces cultivadas em sistema aquapônico, com populações de peixes de 30, 60 e 90, com dois volumes de material filtrante(40 e 60 L) para o primeiro ciclo e (50 e 70 L), para o segundo ciclo.

Conforme pode-se observar, no ciclo I, houve diferença significativa a 1%, para massa seca das folhas (MSFo), para os fatores população de peixes e volumes de biofiltro.

Para o ciclo II, houve diferença significativa a 1% na interação PP\*VF, para todas as variáveis analisadas.



**Tabela 4** - Resumo da ANAVA para os ciclos I e II da população de peixes (PP) e volume de material filtrante (VF) para as variáveis biométricas diâmetro de copa (DCo, cm), número de folhas (NFo), diâmetro de caule (DCa, cm), massa fresca das folhas (MFFo, g) e massa seca das folhas (MSFo, g)

FV	GL	Quadrados Médios				
		DCo	NFo	DCa	MFFo	MSFo
<b>Ciclo I</b>						
PP	2	4,87 <sup>ns</sup>	3,37 <sup>ns</sup>	7,50 <sup>ns</sup>	1627,14 <sup>ns</sup>	23,235 <sup>**</sup>
VF	1	0,68 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	2082,49 <sup>ns</sup>	26,499 <sup>**</sup>
PP*VF	2	3,43 <sup>ns</sup>	4,26 <sup>ns</sup>	0,65 <sup>ns</sup>	918,27 <sup>ns</sup>	1,832 <sup>ns</sup>
BLOCO	2	0,66 <sup>ns</sup>	4,62 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	746,38 <sup>ns</sup>	0,016 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	10	11,90	3,97	2,46	577,52	1,751
CV (%)		12,66	12,21	11,80	10,31	13,70
<b>Ciclo II</b>						
PP	2	11,79 <sup>**</sup>	78,77 <sup>**</sup>	0,0522 <sup>**</sup>	16114,18 <sup>**</sup>	20,01 <sup>**</sup>
VF	1	30,03 <sup>**</sup>	69,03 <sup>**</sup>	0,4293 <sup>**</sup>	75345,73 <sup>**</sup>	99,17 <sup>**</sup>
PP*VF	2	12,79 <sup>**</sup>	108,59 <sup>**</sup>	0,2186 <sup>**</sup>	15027,30 <sup>**</sup>	24,64 <sup>**</sup>
BLOCO	2	3,29 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,0270 <sup>*</sup>	69,23 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	10	1,06	6,28	0,0050	417,94	0,48
CV (%)		2,42	10,42	6,04	7,89	3,59

FV = fator de variação; GL = grau de liberdade; PP = população de peixes, VF = volume de material filtrante, PP\*VF = população de peixes \* volume de material filtrante; CV = coeficiente de variação. Fonte: Autores.

Na Tabela 5, analisando o desdobramento de população de peixes em relação ao volume de material filtrante e vice-versa, para o cicloII, observa-se para DCo, diferença significativa para todas as populações de peixes, em relação ao volume de material filtrante. Para o VF50, as médias foram superiores às médias do VF70. Apenas em PP60 do VF70, a média foi estatisticamente igual às médias de VF50.

Em relação ao NFo, houve diferença significativa para todas as populações de peixes, em relação ao VF50. Já em relação ao volume de material filtrante, em VF50, as médias foram superiores à VF70. Houve menor média apenas para PP90, em relação ao VF70.

No parâmetro DCa, houve diferença significativa para todas as populações de peixes, em relação aos volumes de material filtrante. Analisando os volumes de material filtrante, as maiores médias foram para VF50, que foram superiores à VF70. Para o VF70, o maior valor foi para PP30 e estatisticamente igual à VF50.

Para a variável MFFo, houve diferença significativa entre as populações de peixes, em relação ao VF50. Para as populações de peixes, em relação à VF70, os valores foram superiores em relação à VF50. Analisando os volumes de material filtrante, as médias de VF50, foram superiores às médias de VF70.

Para MSFo, houve diferença significativa para todas as populações de peixes, em relação à VF50. Em relação à VF70, os valores foram estatisticamente iguais para todas as populações de peixes. Analisando os volumes de material filtrante, os maiores valores foram encontrados para PP60. Para as PP30 e PP90, as maiores médias foram para VF50.

**Tabela 5** - Desdobramento do ciclo II da interação de população de peixes (PP) dentro de cada nível de volume de material filtrante (VF) e vice-versa para diâmetro de copa (DCo, cm), número de folha (NFo), diâmetro de caule (DCa, cm), massa fresca da folha (MFFo, g) e massa seca da folha (MSFo, g) do sistema aquapônico.

VF (L)	PP		
	30	60	90
<b>DCo</b>			
50	45,00 aA	40,75 bA	45,75 aA
70	42,25 aB	41,16 aA	40,33 aB
<b>NFo</b>			
50	25,33 bA	18,75 cA	34,00 aA
70	24,33 aA	21,50 aA	20,50 aB
<b>DCa</b>			
50	1,17 bA	1,20 bA	1,61 aA
70	1,21 aA	0,95 bB	0,90 bB
<b>MFFo</b>			
50	273,57 bA	257,82 bA	440,37 aA
70	181,09 aB	204,81 aB	197,67 aB
<b>MSFo</b>			
50	20,58 bA	18,59 cA	26,01 aA
70	16,76 aB	17,44 aA	16,90 aB

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem dentro da população de peixes (PP) e letras maiúsculas iguais não diferem entre volume de material filtrante (VF) a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

A Tabela 6, apresenta os resultados obtidos para MSFo, que foram significativos a 1% de probabilidade, para o ciclo I. Considerando as populações de peixe, percebe-se que o maior valor foi para PP60. Em relação ao volume de material filtrante, a maior média foi para VF60.

**Tabela 6** - Massa seca das folhas de alface do ciclo I para população dos peixes (PP) e volume de material filtrante em sistema aquapônico.

PP	MSFo (g)
30	8,54b
60	11,93a
90	8,50b
VF	MSFo (g)
40	8,44b
60	10,87a

Fonte: Autores.

Os altos valores de pH, segundo estudo realizado por Ferreira et al. (2018), devem-se aos ácidos orgânicos liberados na solução pela decomposição dos compostos nitrogenados. A atividade nitrificadora das bactérias aumentam a alcalinidade da água, conforme observado por Carrijo et al (2000) e Ebeling et al. (2006). Na tabela 7, são apresentados os valores médios de pH, relativos ao ciclo I e do ciclo 2.

**Tabela 7** - Valores médios de pH para os ciclo I e cicloII.

pH	
Ciclo I	Ciclo II
7,85	8,08

Fonte: Autores.

Conforme vemos na tabela 8, foram verificadas altas concentrações de nitrito (acima de 1 mg L<sup>-1</sup>), níveis estes, não recomendáveis para a aquaponia. Somerville et al (2014) e Braz filho (2000), consideram aceitáveis, níveis abaixo de 1 mg L<sup>-1</sup>.

**Tabela 8** - Teores de nitritos, nitratos e amônia, conforme a população de peixes, aos 24 dias.

Tempo: 24 horas			
PP	Nitrito (mg/L <sup>-1</sup> )	Nitrato (mg/L <sup>-1</sup> )	Amônia (mg/L <sup>-1</sup> )
30	1,41	44,38	0,73
60	3,06	63,53	1,48
90	2,13	39,02	3,73

Fonte: Autores.

#### 4. Discussões

A condutância estomática ( $G_{sw}$ ), está diretamente ligada à Taxa fotossintética ( $A$ ) e à Taxa transpiratória ( $E$ ). Ela mede o fluxo molar líquido do dióxido de carbono que entra ou sai dos estômatos, para uma dada diferença de CO<sub>2</sub> e vapor de água presentes na atmosfera e na cavidade subestomática. Dependendo do potencial osmótico, as células-guarda dos estômatos podem se abrir ou se fechar. Uma concentração de íons potássio (K), nas células-guarda, leva a uma diminuição do potencial osmótico, fazendo com que os estômatos se abram. Isto permitirá a entrada de CO<sub>2</sub> para o interior da cavidade subestomática.

Analisando a condutância estomática ( $G_{sw}$ ), notamos que, no ciclo I, muitos dos maiores valores foram alcançados com um menor volume de material filtrante, com uma menor população de peixes. De maneira similar, observamos que, no ciclo II, um menor volume de mídia, já inferiu valores significativos, o que nos leva a pensar que nos dois casos, o menor volume de material filtrante, com uma menor população de peixes, influenciou positivamente a condutância estomática pois, houve condições para as bactérias se desenvolverem facilmente, efetuando a mineralização dos compostos, com subsequente liberação de nutrientes na água, que foram disponibilizados às plantas. A condutância estomática é também dependente dos elementos minerais presentes na solução tais como o potássio (K). O potássio da solução, quando absorvido, chega às células-guarda, diminuindo o potencial osmótico. A planta então, começa a absorver água e as folhas ficam túrgidas e consequentemente, os ostíolos se abrem. Com os estômatos abertos, o CO<sub>2</sub> atmosférico passa então, para a cavidade subestomática, sendo depois utilizado na fotossíntese.

Outro fator, muito importante de ser observado é que no sistema aquapônico, não há deficiência hídrica, o que poderia diminuir a pressão de turgescência e por conseguinte, comprometer a condutância estomática ( $G_{sw}$ ). Sendo assim, analisando este aspecto, a condutância estomática sempre foi ótima, favorecendo a taxa fotossintética ( $A$ ), a taxa transpiratória ( $E$ ), a concentração interna de CO<sub>2</sub> e a eficiência instantânea de carboxilação ( $A/C_i$ ).

A taxa transpiratória ( $E$ ) está intimamente ligada à taxa fotossintética ( $A$ ), pois atua na diminuição do potencial hídrico, diminuindo a energia livre, fazendo com que a planta absorva mais água. A água, subindo pelo xilema, mantém a pressão de turgescência, fazendo com que os estômatos permaneçam abertos. Os estômatos, estando abertos, permitem a entrada de CO<sub>2</sub> para a câmara subestomática. A partir daí, após vencer todas as barreiras, será utilizado no ciclo de Krebs. Como pudemos observar, os valores obtidos nas análises das taxas fotossintética e transpiratória evidenciam uma condição ideal para o crescimento e desenvolvimento vegetal.

Na tabela três, a taxa fotossintética e a eficiência instantânea de carboxilação ( $A/C_i$ ), no ciclo I, tiveram as maiores médias, para uma população de peixes menor, o que sugere que estas variáveis independem da estocagem de peixes para um ótimo.

Conforme pode-se observar na tabela 4, analisando as variáveis biométricas, houve diferenças significativas no ciclo I, para MSfolhas.

Na Tabela 5, observa-se que os maiores valores foram relativas ao volume de material filtrante de 50L, para todas as variáveis. Curiosamente, as melhores médias, foram para uma população de peixes maior, sendo que, o volume de material filtrante de 50L foi suficiente para mineralizar as excretas nitrogenadas destes peixes.

Para a variável N<sub>Fo</sub>, observa-se que o número médio de folhas esteve acima dos valores encontrados na literatura. Oliveira et al. (2005), observaram que para as alfaces crespas, o número médio de folhas foi de 14,56, no cultivo solteiro.

Os valores de pH, tanto para o ciclo I, como para o ciclo II, foram elevados. Summerfelt (2000), observou que a amônia se torna tóxica com temperatura e pH elevado. Segundo Tyson et al (2008), o pH ideal para plantas, bactérias e peixes, se situa entre 5,5 e 6,5.

Carneiro *et al* (2015) observaram que a atividade das bactérias no biofiltro, leva a redução nos níveis de pH, devido aos íons hidrogênio liberados na água durante o processo de nitrificação. Bagioni observa que a associação entre as bactérias nitrificantes e o cultivo hidropônico são eficientes para manter a qualidade da água e reduzir os níveis tóxicos da amônia.

O produto final do processo de conversão dos compostos nitrogenados, o nitrato, dependerá da quantidade de material filtrante. Assim, será necessário conhecimento fundamental para encontrar o equilíbrio entre a quantidade de compostos metabólicos liberados na água, a capacidade das bactérias em mineralizá-los e das plantas em absorver os produtos finais. Isto dependerá de inúmeros fatores, quer sejam, as espécies e densidades de peixes e plantas, estágios fenológicos da cultura e necessidades alimentares dos peixes (Endut et al., 2010; Rakoci, 2012).

O balanço dos níveis de nitrato dependerá da densidade de peixes em cada reservatório e do volume de material filtrante, sendo que o ajuste ideal deve ser perseguido, para que seja tolerável às três espécies de organismos vivos. Os peixes toleram bem níveis de nitrato elevado, já as plantas são muito sensíveis a altos níveis de nitrito.

Muito embora os níveis observados de nitrito, e amônia estiveram altos (Tabela 8), não foi constatado nenhum distúrbio fisiológico ou de crescimento nas alfaces.

## 5. Conclusão

Uma população de 30 peixes /m<sup>3</sup> é suficiente para que se estabeleça um ambiente propício para ativar as taxas fotossintéticas e transpiratória das plantas, bem como para estimular as suas condutâncias estomáticas e eficiência instantânea de carboxilação, promovendo assim, o crescimento e desenvolvimento da alface aquapônica.

A utilização de um biofiltro com maior capacidade, proporcionou uma maior atividade das bactérias nitrificadoras, disponibilizando mais nutrientes para as plantas. Ainda, a utilização de um maior volume de material filtrante, é importante para manter os níveis de qualidade da água adequados, quer seja pela redução do pH ou amônia.

## Referências

- Blat, S. F., Branco, R. B. F. & Trani, P. E. (2011). Desempenho de alface crespa em Ribeirão Preto, SP, no cultivo de primavera. *Pesquisa & Tecnologia*, 8 (105), 1-9.
- Braz Filho, M. D. S. P. (2000). *Qualidade na produção de peixes em sistema de recirculação de água*. Centro Universitário Nove de Julho, São Paulo (SP), 41.
- Carrijo, A., O. & Makishima. (2000). Princípios de nutrição mineral, formulação e manejo da solução nutritiva. In: Carrijo, A.O., Makishima, M. (Ed). *Princípios de hidroponia*. Brasília: Embrapa Hortaliças, (circular técnica 22).
- Dalsgaard, J., Lund, I., Thorarinsdóttir, R., Drenstig, A., Arvonen, K., & Pedersen, P., B. (2013). Farming different species in RAS in nordic countries: current status and future perspectives. *Aquacultural Engineering*, 53, 2-13.
- Ebeling, J. M. (2006) Engineering analysis of stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic and heterotrophic control of ammonia-nitrogen in aquaculture production system. *Aquaculture*, 257, 346-358.
- Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Nik, W. B. W., & Hassan, A. (2010) A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource Technology* 101, 1511-1517.

- Ferreira, R., A. (2018) *Aprimoramento da compostagem do resíduos de podas e jardins por meio de técnicas de baixo custo*. Dissertação, 56 f. PPGAO, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.
- Guerra, A. M. N. M., Costa, A. C. M., & Tavares, P. R. F. (2017) Atividade fotossintética e produtividade de alface cultivada sob sombreamento. *Revista Agropecuária Técnica*. Areia-PB, 38, 125-132.
- Goddek, S., Joyce, A., Kotzen, B., & Burnell, G. M. (2019). *Aquaponics food Production's systems*. Springer, Switzerland, 619.
- Hager, J., Bright, L.A., Dusci, J., & Tidwell, J. (2021) *Aquaponics production manual – A practical handbook for growers*. Kentucky State University, 1, 76.
- Henz, G. P., & Suinaga, F. A. (2009). *Tipos de alface cultivadas no Brasil*. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças.
- Konig, B., Junge E, R., Bittzanski, A., Villarroel, M., & Komives, T. (2016) On the sustainability of aquaponics. *Ecocycles Science Journal Europe Ecocycles* 1, 26-32.
- Lennard, W.A., & Leonard, B. V. (2006). A comparison of three different hydroponic subsystems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in a aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14, 539-550.
- Martins, T. S. (2021). *Desempenho agrônômico de cultivares de alface em sistema hidropônico no município de Uruçuí-PI*. Monografia (Graduação em Agronomia), IFPiauí-Campus Uruçuí - Uruçuí-PI.
- Mendes, F. T. de C., Freitas, A. S. de, Alcantra, E., Marques, R. F. de P. V., Oliveira, A. S. de, Barbosa, R. A., Padua, M. C. de, & Junqueira, R. R. (2021). Desempenho agrônômico de cultivares de alface em aquaponia. *Research, Society and development*. 10, 9.
- Nick, C., & Borém, A. (2019) *Alface: do plantio à colheita*. Viçosa, MG: Editora UFV, 228.
- Oliveira, E. Q. (2005) Cultivares de alface em segundo cultivo em sistemas solteiro e consorciado com duas variedades de cenoura. *Caatinga*, Mossoró, 18, 3, 159-163.
- Pereira A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. UFSM.
- Pinho, S. M., David, L. H., Garcia, F., Keesman, K. J., Portella, M. C., & Goddek, S. (2021) South american fish species suitable for aquaponics: a review. *Aquaculture international*, 29, 1427-1449.
- Rakocy, J. E. (2004). Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. *Acta Horticulture*. 648, 63-69.
- Rakocy, J., E. (2012). *Aquaponics integrating fish and plant culture*, Wiley-Blackwell: Hoboken, NJ, USA, 344-386.
- Resh, H. M. (2012) *Hydroponic Food Production*. CRC Press, 560.
- Sanchez-Moreira, A. M., & Reigosa, M. J. (2018) *Advances in plants ecophysiology techniques*. Vigo, Spain.
- Sedyama, M. A. N., Pedrosa, M. W., Salgado L. T., & Pereira, P. C. (2009) Desempenho de cultivares de alface para cultivo hidropônico no verão e no inverno. *Científica*, 37, 98-106.
- Santos, F. N., Araujo, J. R. G., Costa, E. M. R. C., Costa, E. P. B. C., Silva, J. C. B., & Silva, J. R. (2005). Avaliação de cultivares de alface sob as condições de cultivo a ambiente protegido e à campo. *Horticultura Brasileira*, 23, 20, 1-4.
- Silva, F. G., Dutra, W. F., Dutra, A. F., Oliveira, I. M., Filgueiras, L. M. B., & Mello, A. S. de. (2015). Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 19, 10, 946-952.
- Soares, H. R., Silva E. F. de F., Silva, G. F., Pedrosa, E. M. R., Rolim, M. M., & Santos, A. N. (2015). Crescimento e consumo hídrico de alface americana cultivada com águas salobras em Sistema hidropônico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(7).
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., & Lovatelli. (2014). *A Small-scale aquaponic food production, integrating fish and plant farming*. FAO, Rome.
- Souza, S. V., Almeida, M. G. de, Oliveira, L. E. do N., & Sabbag, O. J. (2020). Análise do crescimento de alface sob diferentes sistemas de cultivo. *Revista da Agricultura Familiar*, 14, 2.
- Summerfelt, R. C. (2000) Water quality considerations for aquaculture *Aquaculture*.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006) *Fisiologia Vegetal*, 6, Artmed.
- Tyson, R. V., Simoni, E. H., Treadwell, D. D., White, J. M., & Simonne, A. (2008) Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculation aquaponic system with perlite biofilters. *Hortscience* 43, 719-724.
- Vermeulen, T., & Kamstra, A. (2013). The need for systems design for robust aquaponics systems in the urban environment. *Acta Horticulturae*, 1004.