

Marcos Nicolás Blum

**EFEITO DE DIFERENTES NÍVEIS DE ARRAÇOAMENTO E
COMPLEMENTAÇÃO MINERAL EM SISTEMAS DE CULTIVO
AQUAPÔNICO DE TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*) E ALFACE
(*Lactuca sativa*)**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-
graduação em Aquicultura da Universidade
Federal de Santa Catarina para a obtenção
do grau de Mestre em Aquicultura

Orientador: Luis Vinatea Arana
Coorientador: Maurício G. C. Emerenciano

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Blum, Marcos Nicolás

Efeito de diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral em sistemas de cultivo aquapônico de tilápia (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*). / Marcos Nicolás Blum ; orientador, Luis Alejandro Vinatea Arana, coorientador, Maurício Gustavo Coelho Emerenciano, 2018.

83 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. aquaponia. 3. recirculação. 4. tilápia. 5. alface. I. Vinatea Arana, Luis Alejandro . II. Emerenciano, Maurício Gustavo Coelho . III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. IV. Título.

Efeito de diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral em sistemas de cultivo aquapônico de tilapia (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*)

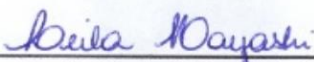
Por

MARCOS NICOLÁS BLUM

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

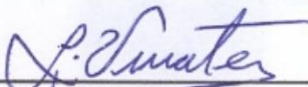
MESTRE EM AQUICULTURA

e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Aquicultura.

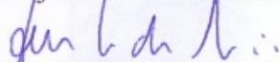


Prof. Leila Hayashi, Dra.
Coordenadora do PPG em Aquicultura

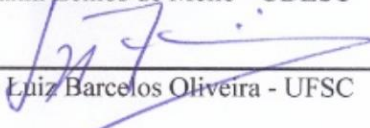
Banca Examinadora:



Dr. Luis Alejandro Vinatea Arana – *Orientador*



Dr. Giovanni Lemos de Mello - UDESC



Dr. Jorge Luiz Barcelos Oliveira - UFSC

Este trabalho é dedicado aos meus pais
Gustavo Donatelli e Liliana Gallo com
todo meu amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

À Minha família, meu pai Gustavo e minha mãe Liliana, por estarem sempre presentes. À minha companheira Thaysa, que me incentivou e apoiou desde o início.

Ao meu orientador Dr. Luis Vinatea Arana, pela oportunidade de realizar este projeto e, principalmente, por acreditar em mim e me encorajar a seguir em frente desde os tempos da graduação em Engenharia de Aquicultura. Um exemplo a ser seguido.

Ao meu coorientador Dr. Mauricio G. C. Emerenciano, sempre compartilhando seus conhecimentos e ajudando a tornar-me um melhor profissional. Agradeço também a confiança e disponibilização do espaço do Laboratório de Aquicultura da Universidade do Estado de Santa Catarina (LAQ-UDESC) para realização do experimento.

Ao professor Dr. Barcellos, por me dar a oportunidade de consertar os erros do passado, acreditar novamente em mim e na minha capacidade. Você foi muito importante, principalmente por compartilhar seu conhecimento e experiência de vida. Muito obrigado pelas conversas.

Agradeço especialmente ao Emerson Durigon por toda a ajuda e empenho durante sua estadia no LAQ, você foi uma peça fundamental no desenvolvimento deste trabalho. Construção, parâmetros, biometrias, ideias, discussões, estatísticas, além de parceiro para o churrasco e o mate. Serás sempre bem-vindo, te esperamos por aqui e desejamos muito sucesso no teu caminho.

Agradeço à Carol pela ajuda na biometria inicial, troca do plástico da estufa e análises de qualidade da água.

Aos colegas de laboratório Sara e Alison e aos que colaboraram nas biometrias: Galego, Leone, Ramires e Debora.

À Capes pela bolsa de estudos e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Ao Carlito pela ajuda e apoio na secretaria do programa; sem você não nos tornaríamos mestres.

A todos os demais não citados acima, mas que de alguma forma contribuíram com o desenvolvimento do trabalho: muito obrigado!

“A vitória está reservada para aqueles que estão
dispostos a pagar o preço.”
Sun Tzu

RESUMO

A aquaponia é um método de produção de peixes e plantas onde metabólitos produzidos pelos peixes são reutilizados para nutrir as plantas. Assim mantém-se uma boa qualidade da água, melhorando o ambiente de cultivo e, principalmente, tornando-o mais sustentável. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes proporções de ração oriunda do cultivo dos peixes e a necessidade de complementação mineral (Fe 2,0 mg.L⁻¹, K 183 mg.L⁻¹, Ca 142 mg.L⁻¹, Mg 400 mg.L⁻¹, Mn 1,5 mg.L⁻¹) para o cultivo de plantas. Foram utilizados seis sistemas experimentais idênticos. Cada sistema esteve composto por um tanque matriz circular de 500 L e três caixas retangulares plásticas de 0,42 m² cada para compor a bancada hidropônica; além disso, cada sistema continha um filtro mecânico do tipo sedimentador e um filtro biológico, totalizando 810 L de volume. O modelo de aquaponia utilizado foi o de bandejas flutuantes. Os tratamentos receberam 0,5 g, 1,0 g, 2,0 g de ração/planta/dia com e sem complementação mineral. O peixe utilizado foi a tilápia (*Oreochromis niloticus*) e a planta alface lisa (*Lactuca sativa*). O experimento teve duração de 32 dias (um ciclo de produção de peixes e dois ciclos de produção de alfaces). Os resultados apresentaram diferença significativa entre os tratamentos para o cultivo de alface, onde foram encontradas produtividades de até 1,15 kg.m⁻² e 1,43 kg.m⁻² no primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Os índices de qualidade da planta mostram que apenas os sistemas complementados com minerais produziram plantas sem deficiências aparentes. Os peixes não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. O balanço de massas mostrou deficiência de nutrientes nos sistemas não complementados e perdas de nitrato, ferro e manganês. Os resultados confirmam que a utilização de complementação mineral em sistemas de aquaponia possibilita a diminuição das relações de ração/planta/dia, sem influenciar negativamente no desenvolvimento dos organismos cultivados.

Palavras-chave: Aquicultura; aquaponia; recirculação; tilápia; alface.

ABSTRACT

Aquaponics is a method of producing fish and plants where the nutrients released by fish are reused to nourish the plants, this helps maintain a good water quality, improving the farming environment, and making it more sustainable. The objective of this study was to evaluate the effect of different proportions between feed and plants, and also the need for a mineral supplementation (Fe 2.0 mg.L⁻¹ K 183 mg.L⁻¹, and Ca 142 mg L⁻¹ Mg 400 mg.L⁻¹, Mn 1.5 mg.L⁻¹). Six identical experimental systems were used. Each one consists of a 500L circular tank, three rectangular plastic boxes of (0.42 m²/each) to compose a hydroponic bed, in addition, each system contained a sedimentation tank and a biological filter, totaling 810 L⁻¹ of volume. Floating technique was utilized to grow plants. The treatments were 0.5 g, 1.0 g, 2.0 g feed/plant/day with and without mineral supplementation. Tilapia (*Oreochromis niloticus*) was the fish used for this experiment and as plants the chosen was lettuce (*Lactuca sativa*) butter variety. The experiment was conducted for a total of 32 days (one production cycle of fish and two production cycles of lettuce). The results show a significant difference between lettuce treatments, yields were of up to 1.15 kg.m⁻² and 1.43 kg.m⁻², first and second cycle. The plant quality index show that only the systems with minerals supplementation produced plants without deficiencies. The fish did not present significant difference between treatments. Mass balance shows nutrient deficiency in non-complemented systems and losses of nitrate, iron and manganese. The results confirm that the use of mineral supplementation in aquaponics systems allows a reduction of feed/plant/day ratios, without negatively influencing any development of the cultivated organisms.

Keywords: Aquaculture; aquaponics; recirculation; tilapia; lettuce.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema sistema de produção aquapônico.....	26
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis de qualidade da água no sistema de aquaponia com <i>Oreochromis niloticus</i> e <i>Lactuca sativa</i> durante período de 32 dias de experimento.....	44
Tabela 2 – Parâmetros de crescimento de tilápias com diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral durante 32 dias.....	45
Tabela 3 – Parâmetros fitotécnicos níveis diferentes de arraçoamento e complementação mineral 1º ciclo.....	50
Tabela 4 – Parâmetros fitotécnicos níveis diferentes de arraçoamento e complementação mineral 1º ciclo.....	51
Tabela 5 – Parâmetros fitotécnicos níveis diferentes de arraçoamento e complementação mineral 2º ciclo.....	52
Tabela 6 – Parâmetros fitotécnicos níveis diferentes de arraçoamento e complementação mineral 2º ciclo.....	53
Tabela 7 – Entrada de minerais em sistema de cultivo aquapônico	56
Tabela 8 – Macro e micro nutrientes e sua relação com N em sistema de aquaponia comparada com Furlani et al.,(1999) e Resh (2012)	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação da amônia em sistemas de aquaponia com diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral	42
Gráfico 2 – Variação do nitrito em sistemas de aquaponia com diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral	42
Gráfico 3 – Variação do nitrato em sistemas de aquaponia com diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral	43
Gráfico 4 – Variação do ortofosfato em sistemas de aquaponia com diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral	43
Gráfico 5 – Variação da alcalinidade em sistemas de aquaponia com diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral	43
Gráfico 6 – Índice qualidade da planta 1º ciclo com diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral	54
Gráfico 7 – Índice qualidade da planta 2º ciclo com diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral	55
Gráfico 8 – Entrada e saída de nutrientes em sistema de produção aquapônico 0,5g/planta/dia e com complementação mineral	60
Gráfico 9. Entrada e saída de nutrientes em sistema de produção aquapônico 0,5g/planta/dia e sem complementação mineral	61
Gráfico 10. Entrada e saída de nutrientes em sistema de produção aquapônico 1g/planta/dia com complementação mineral.....	62
Gráfico 11. Entrada e saída de nutrientes em sistema de produção aquapônico 1g/planta/dia sem complementação mineral	63
Gráfico 12. Entrada e saída de nutrientes em sistema de produção aquapônico 2g/planta/dia com complementação mineral.....	64
Gráfico 13. Entrada e saída de nutrientes em sistema de produção aquapônico 2g/planta/dia sem complementação mineral	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations
EUA - Estados Unidos da América
USDA - United States Department of Agriculture
RAS – Recirculating aquaculture systems
DAPS – Decoupled aquaponic systems
NFT – Nutrient film technique
EC – Condutividade elétrica
W– Watt
pH – Potencial hidrogenônico
N – Nitrogênio
P – Fósforo
K – Potássio
Ca – Cálcio
Mg – Magnésio
S – Enxofre
Cl – Cloro
Fe – Ferro
Mn – Manganês
Cu – Cobre
Zn – Zinco
B – Boro
Na – Sódio
IHS – Índice hepatossomático
CA – Conversão alimentar
RC – Rendimento de carcaça
TCE – Taxa de crescimento específico
FC – Fator de condição
Temp – Temperatura
O₂ – Oxigênio
IQP – Índice de qualidade da planta

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	25
OBJETIVOS	28
Objetivo Geral.....	28
Objetivos Específicos	29
ARTIGO CIENTÍFICO	29
1 INTRODUÇÃO	33
2 MATERIAIS E MÉTODOS	35
2.1 Local do experimento	35
2.2 Unidades experimentais	36
2.3 Material biológico	36
2.3.1 Peixes	36
2.3.2 Plantas	37
2.4 Manejo do sistema	37
2.5 Complementação mineral	37
2.5 Variáveis de qualidade da água	38
2.6 Análises fitotécnicas e índice de qualidade da planta	38
2.7 Parâmetros zootécnicos	38
2.8 Análises do perfil de minerais nutrientes e balanço de massas	39
2.9 Análises estatísticas.....	40
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
3.1 Variáveis de qualidade da água	40
3.2 Desempenho <i>Oreochromis niloticus</i>	45
3.3 Parâmetros fitotécnicos	47
3.4 Perfil de minerais e fluxo de nutrientes	55
4 CONCLUSÕES	67
5 REFERENCIAS	67
REFERENCIAS DA INTRODUÇÃO	77
ANEXOS	81

INTRODUÇÃO

Considerando o rápido crescimento populacional, tornam-se necessárias novas formas de produção de alimentos que visem desenvolver o maior número de recursos de forma sustentável, pautado nos três pilares básicos da sustentabilidade: econômico, ambiental e social (NAYLOR, 2000). Sistemas intensivos de produção como, por exemplo, a aquaponia, podem ser uma forma de produção viável no atual cenário mundial.

Os sistemas de aquaponia surgiram na comunidade de pesquisas em aquicultura em meados dos anos de 1970 (SNEED et al., 1975; NAEGEL, 1977; LEWIS et al., 1978) e visam unir duas atividades que já estão bem desenvolvidas no mercado: a aquicultura e a hidroponia. Caracterizam-se por ser um sistema de cultivo multitrófico, onde peixes são cultivados em conjunto com plantas de valor econômico e alimentar relevantes (alface, rúcula, agrião, entre outras) (RAKOCY e HARGREAVES, 1993; NELSON, 2008). Os sistemas de recirculação em aquicultura são compostos por tanques de cultivo, filtros mecânicos e biofiltros encarregados da conversão de amônia em nitrato; o sistema de hidroponia introduz o componente de cultivo das plantas, formando assim os sistemas de cultivo aquapônico (Figura 1).

Na aquicultura tradicional a ração fornecida aos peixes proporciona grande parte dos nutrientes requeridos pelas plantas para o seu crescimento. Na maioria das espécies a absorção de nitrogênio (N) oriunda da ração é de apenas 20-30% (SHPIGEL et al., 1993; PIEDRAHITA, 2003; SCHNEIDER et al., 2005) o qual significa que 70-80% do N fornecido é dispensado como dejetos na água (KROM et al., 1995). A aquaponia visa aproveitar os metabólitos excretados pelos peixes transformados em nutrientes de alta qualidade (ciclo do nitrogênio) para as plantas, as quais irão promover a retirada desses nutrientes do sistema. Desta forma, mantém-se uma boa qualidade da água que, por conseguinte, promove o crescimento dos animais em cultivo, diversificando a produção e tornando-a mais sustentável (WATTEN e BUSCH, 1984; RAKOCY et al., 1997, 2006; EMERENCIANO et al., 2015).

Segundo a FAO (2016), o Brasil pode apresentar crescimento de 104% na produção pesqueira e aquícola até 2025. A espécie que apresenta grande potencial de crescimento é a tilápia. As tilápias (*Oreochromis niloticus*) possuem diversos fatores que as qualificam para o cultivo comercial em sistemas de aquaponia (WATTEN e BUSCH, 1984; RAKOCY et al., 1997), se destacando, principalmente,

pelo rápido crescimento, resistência a doenças, facilidade de manejo, fácil reprodução em cativeiro, além de serem tolerantes a uma ampla variação das condições ambientais (EL-SAYED, 2006).

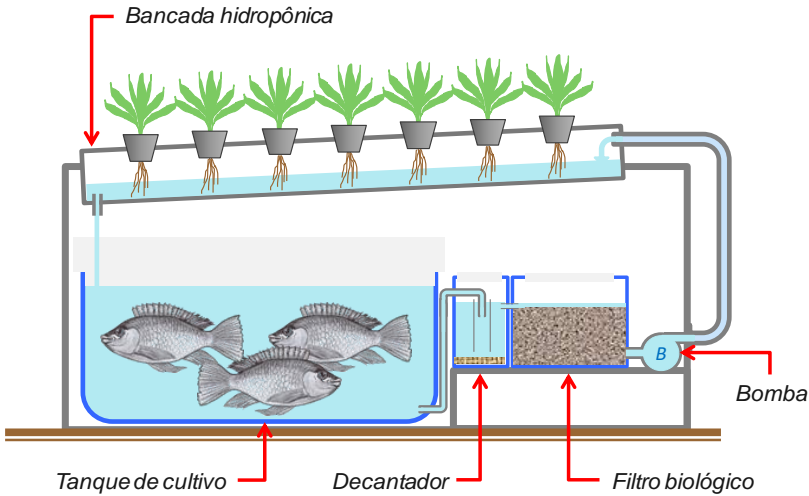


Figura 1: Esquema de sistema de produção aquapônica. Fonte: Marcos Nicolás Blum.

Ainda que a aquaponia seja um sistema de cultivo pouco difundido no Brasil, há países onde a tecnologia está bem dominada como, por exemplo, Austrália, Nova Zelândia, México e EUA, onde agricultores locais já disponibilizam esses produtos a um mercado diferenciado, com menor custo e maior qualidade (USDA, 2006, 2012; LOVE et al., 2015).

As pesquisas recentemente desenvolvidas apontam o grande potencial da atividade (ROOSTA et al., 2010). Endut et al. (2010), avaliando o crescimento de espinafres, observaram que no final do período de 20-28 dias as plantas atingiram o tamanho de mercado de maneira precoce, com altura média de 45-50 cm. Em cultivo de tomates, Graber et al. (2008) compararam os sistemas de aquaponia e hidroponia, e todas as variedades produziram mais frutos em aquaponia. Rakocy et al. (2006) constataram um bom crescimento de plantas em sistema de aquaponia; observando que, tanto para a alface (roxa ou verde), são necessárias apenas quatro semanas para atingir tamanho comercial.

Para o cultivo de organismos aquáticos, o sistema de aquaponia também traz benefícios (RAKOCY et al., 1997). Bayley et al. (1997) estocaram juvenis de tilápia de 30-50 g e, após 24 semanas, atingiram

um peso médio 487 g e sobrevivência de 92%, devido, principalmente, à boa qualidade de água do cultivo.

As biomassas de cultivo tradicionalmente usadas variam de 30 a 70 kg/m³ de peixes e permitem uma produção de até 30 hortaliças por m². Como regra geral de dimensionamento, 1 m³ de cultivo de peixe pode gerar em média de 3 m² a 15 m² de superfície para cultivo de plantas (EMERENCIANO et al., 2015).

Em cultivos hidropônicos, a absorção de nutrientes está diretamente relacionada com a biodisponibilidade destes na solução nutritiva; os produtores mantêm controle constante dos parâmetros e da concentração de minerais disponíveis para garantir melhor desenvolvimento das plantas e maior economia no cultivo (SONNEVELD e VOOGT, 2009). Em sistemas aquapônicos a solução nutritiva é a própria água de cultivo aquícola, fertilizada pela ração e pelos metabólitos dos peixes (LOVE et al. 2014). Poucos estudos focam em dimensionar, tecnificar e controlar a disponibilidade de nutrientes para as plantas; conseqüentemente, a produção vegetal em sistemas aquapônicos tem maior incidência de deficiências nutricionais.

De acordo com Rackocy et al. (1997), para hortaliças folhosas como a alface utiliza-se uma densidade de plantio de 20 a 30 plantas.m⁻² e uma relação aproximada de 60 g de ração para cada m² de plantas/dia, a fim de atingir os níveis mínimos de nutrientes necessários para nutrir a planta. Desta forma, os custos de implementação estão relacionados com o dimensionamento dos sistemas de cultivo aquapônico, com a quantidade de ração necessária para nutrir as plantas, as quantidades de peixes para consumir a ração e o espaço necessário para alocar os peixes, além do sistema hidropônico para a produção das plantas (ADLER et al., 2018; KWAMENA, et al., 2017)

Atualmente a ração utilizada em cultivos aquapônicos tem como espécie alvo única e exclusivamente o peixe, faltando nutrientes essenciais para o completo desenvolvimento das plantas. Por esse motivo, para produzir plantas de qualidade tornam-se fundamentais as complementações com macro e micro minerais (potássio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, ferro, boro, cobre, zinco, manganês e molibdênio) em proporções e concentrações específicas (FURLANI et al., 1999; SONEVELD e VOOGT, 2009; RESH, 2012). Diversos autores mencionam a necessidade de complementação mineral, principalmente ferro, potássio e cálcio; porém, não estão claras as metodologias utilizadas para calcular a falta de minerais nem o fluxo de massa (RAKOCY et al., 2006; VERMULEN, 2012; LOVE et al., 2014).

No Brasil, o desenvolvimento da aquaponia a nível comercial dependerá inicialmente de produtores hidropônicos já estabelecidos que visem diversificar a produção e explorar novos mercados consumidores, pois, como já possuem o conhecimento e os equipamentos necessários para o cultivo de hortaliças, os custos e investimentos necessários para implantação do segmento aquícola serão menores.

Atualmente os produtores hidropônicos já estão familiarizados com a utilização de minerais. Estes tem um custo baixo para a produção de hortaliças, no Brasil 1000 L de solução hidropônica custam aproximadamente R\$7,00. A junção dos sistemas será possível se a produção de organismos aquáticos não prejudicar a qualidade das plantas produzidas e não onerar o cultivo de forma excessiva. Para isto é importante focar em diminuir as relações de ração/planta/dia utilizada pra nutrir os sistemas aquapônicos e descobrir até quanto é possível complementar o sistema aquapônico com a utilização de minerais.

As pesquisas em aquaponia têm aumentado bastante nos últimos anos; não há muitas com enfoque em balanço de massa e, das encontradas, o foco principal é nas relações de nitrogênio, fósforo e potássio (DELAIDE et al., 2016). Desta forma, seriam interessantes estudos mais completos que avaliem um perfil maior de minerais e sua interação entre os organismos de cultivo, os níveis de produção, a demanda nutricional e a qualidade final da produção.

Assim, com esta pesquisa, se espera que a utilização de sais minerais permita diminuir as relações diárias utilizadas atualmente sem afetar o desenvolvimento e a qualidade dos peixes. A diminuição das relações permitirá menores custos com implementação e capital de giro de projetos em escala comercial.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Este trabalho objetiva proporcionar ferramentas para a diminuição de custos com a implementação e manejo de sistemas aquapônicos e atenuar as barreiras que encontra no cenário nacional para o desenvolvimento da aquaponia. Para tal, foi avaliado o desempenho dos sistemas aquapônicos com e sem complementação mineral (*blend* de produtos comerciais), verificando se essa complementação permite diminuir as quantidades de ração utilizadas para nutrir as plantas e o

efeito desta nos peixes e plantas, assim como sua influência nos balanços de massa.

Objetivos Específicos

- Avaliar os efeitos de diferentes relações de ração/planta/dia em sistemas de cultivo aquapônico de tilápia (*O. niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*).
- Avaliar o desempenho zootécnico da tilápia (*O. niloticus*) em sistemas de cultivo aquapônico com e sem complementação mineral.
- Avaliar o desempenho fitotécnico da alface (*L. sativa*) em sistemas com e sem complementação mineral.
- Avaliar o perfil e fluxo dos minerais N, P, K, Ca, Mg, S, Cl, Fe, Mn, Cu, Zn, B e Na na água, nos peixes e nas plantas ao longo do período experimental.

ARTIGO CIENTÍFICO

Efeito de diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral em sistemas de cultivo aquapônico de tilápias (*Oreochromis niloticus*) e alfaces (*Lactuca sativa*)

O artigo foi formatado segundo as normas da revista *Ecological Engineering*. Classificação Qualis CAPES A1 na área Engenharia 1 com fator de impacto de 3,422.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes proporções entre ração oriunda do cultivo dos peixes e plantas e a necessidade de uma complementação mineral (Fe, K, Ca, Mg e Mn). Foram utilizados seis sistemas experimentais idênticos. Cada sistema composto de um tanque matriz circular de 500 L de volume útil e três caixas retangulares plásticas de 0,42 m²/cada para compor a bancada hidropônica, além de um sedimentador e um filtro biológico, totalizando 810 L de volume útil no sistema. O modelo de aquaponia utilizado foi o de bandejas flutuantes. Os tratamentos receberam 0,5, 1,0 e 2,0 g de ração/planta/dia com e sem complementação mineral. O peixe utilizado foi a tilápia (*Oreochromis niloticus*) e a planta a alface da variedade lisa (*Lactuca sativa*). O experimento teve duração de 32 dias, abarcando um ciclo de produção de peixes e dois ciclos de produção de alface. Os resultados apresentaram diferença significativa entre os tratamentos para o cultivo de alface, onde foram encontradas produtividades de até 1,15 kg.m⁻² e 1,43 kg.m⁻² no primeiro e segundo ciclo, respectivamente. A taxa de crescimento específico (%.dia⁻¹) no primeiro e segundo ciclo também teve diferença significativa para os tratamentos com e sem complementação mineral: 25,33±1,11, 18,64±2,18 e 24,11±0,99, 20,39±1,45 respectivamente. Os índices de qualidade da planta mostram que apenas os sistemas complementados com minerais produziram plantas sem deficiências nutricionais visíveis e aptas para comercialização. Os peixes não apresentaram diferença significativa para conversão alimentar, ganho de peso, taxa de crescimento específico, rendimento de carcaça, fator de condição e índice hepatossomático entre os tratamentos. O balanço de massas mostra deficiência de nutrientes nos sistemas não complementados e perdas de nitrato, ferro e manganês. Os resultados confirmam que a utilização de complementação mineral em sistemas de aquaponia possibilita a diminuição das relações ração/planta/dia, sem influenciar negativamente no desenvolvimento dos peixes.

Palavras-chave: Aquicultura; hidroponia; aquaponia; recirculação; tilápia; alface.

1 INTRODUÇÃO

O setor aquícola apresenta crescimento significativo dentre diversos métodos de produção de alimento desde os anos 1980 (FAO, 2016). Na aquicultura tradicional a ração fornecida aos peixes proporciona grande parte dos nutrientes requeridos para o seu crescimento. Na maioria das espécies a absorção de nitrogênio (N) fornecido na ração é de apenas 20-30% (Shpigel et al., 1993; Piedrahita, 2003; Schneider et al., 2005) o qual significa que 70-80% do N fornecido é dispensado como dejetos na água (Krom et al., 1995), podendo causar problemas ambientais (Klinger e Naylor, 2012). Para a aquicultura crescer de forma sustentável se faz necessário métodos que visem maximizar a produção com o menor impacto possível (Buhmann et al., 2015; Hu et al., 2015), seguindo os três pilares básicos da sustentabilidade: econômico, ambiental e social (Naylor et al., 2000).

Os sistemas de aquaponia surgiram em meados dos anos 70 (Sneed et al., 1975; Naegel, 1977; Lewis et al., 1978) como método sustentável de produção, visando a junção da aquicultura tradicional de recirculação com os sistemas de produção hidropônica, permitindo a produção simultânea de peixes e plantas (Rakocy e Hargreaves, 1993; Tyson et al., 2011; Rakocy, 2012; Somerville et al., 2014; Alderman, 2015), criando uma relação simbiótica entre os organismos aquáticos, bactérias e plantas (Liang e Chien, 2013; Schmutz et al., 2017). Os metabólitos provenientes do cultivo de peixes são utilizados diretamente pelas plantas ou também transformados por bactérias para posterior absorção pelas plantas. Este fenômeno beneficia tanto as plantas quanto a qualidade da água dos peixes (Endut et al., 2011; Rakocy, 2012; Moya et al., 2014).

Há uma grande diversidade de alimentos produzidos em sistemas de aquaponia, sendo que nos últimos anos se desenvolveram várias pesquisas com manjeriço (*Ocimum basilicum*), menta (*Mentha piperita*, *Mentha spicata*), cebolinha (*Allium Schoenoprasum*), alface (*Lactuca sativa*), espinafre (*Spinacia oleracea*), salsinha (*Petroselinum crispum*), pepino (*Cucumis sativus*), tomate (*Solanum lycopersicum*), pimenta (*Capsicum annuum*), couve-flor (*Brassica oleracea*), berinjela (*Solanum melongena*), feijões e ervilhas (família *Fabaceae*), repolho (*Brassica oleracea*) e brócolis (*Brassica oleracea*) (Diver, 2006; Elia et al., 2014; Moya et al., 2014; Somerville et al., 2014; de Carvalho et al., 2015; Lazar et al., 2015; Pinho et al., 2017b).

Dentre as espécies aquícolas usadas na aquaponia ressaltam-se as tilápias (*Oreochromis spp.*), carpas, bagres, trutas (*Oncorhynchus*

mykiss), *largemouth bass* (*Micropterus salmoides*) e camarões de água doce (*Macrobrachium rosenbergii*) (Diver, 2006; Elia et al., 2014; Somerville et al., 2014). Novas tendências abordam pesquisas em aquaponia com camarões de água salgada (*Litopenaeus vannamei*) e plantas alófitas (*Sarcocornia ambigua*) (Pinheiro et al., 2017).

Dentre todas as espécies mencionadas, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é classificada como uma das mais cultivadas mundialmente devido ao fato de apresentar resistência a doenças, rápido crescimento e habilidade para aceitar rações de baixo custo com insumos de origem vegetal (Ng e Romano, 2013).

Desde o aparecimento da aquaponia no cenário aquícola mundial diversos métodos e abordagens produtivas foram adotados; entre elas, as formas mais comuns são os sistemas de recirculação contínua da água (RAS) (Rakocy et al., 2006). Entretanto, novas tendências vêm sendo propostas como, por exemplo, os sistemas desmembrados DAPS (*decoupled aquaponic systems*) (Goddek et al., 2016). Outros métodos hidropônicos também têm sido apresentados como forma viável de produção em sistemas de cultivos aquapônicos, sendo os três mais tradicionais o das bandejas flutuantes (conhecidos como *floating*), *Nutrient film technique*, (NFT) e sistemas de substrato (Watten e Busch, 1984; McMurtry et al., 1997; Lennard e Leonard, 2006).

Em cultivos hidropônicos a absorção de nutrientes está diretamente relacionada com a biodisponibilidade destes na solução nutritiva (Sonneveld e Voogt, 2009). Em sistemas aquapônicos a solução nutritiva é a própria água de cultivo aquícola fertilizada pela ração não consumida e pelos metabólitos dos peixes. (Love et al. 2014). Nestes sistemas, como por exemplo a produção de hortaliças folhosas, utiliza-se uma densidade de plantio de 20 a 30 plantas/m² e uma relação aproximada de 60 g de ração para cada m² de plantas/dia, a fim de atingir os níveis mínimos de nutrientes necessários para nutrir a planta (Rackocy et al., 1997). Porém, atualmente a ração utilizada em cultivos aquapônicos tem com espécie alvo única e exclusivamente os peixes, sendo fundamental as complementações de macro e micro minerais como potássio (K), ferro (F), manganês (Mn) entre outros (Seawright et al., 1998; Racocy et al., 2006; Graber e Junge, 2009) em proporções e concentrações específicas para atingir o completo desenvolvimento das plantas (Furlani et al., 1999; Sonneveld e Voogt, 2009; Resh, 2012).

No Brasil, o desenvolvimento da aquaponia a nível comercial dependerá inicialmente de produtores hidropônicos já estabelecidos que visem diversificar a produção e explorar novos mercados consumidores, uma vez que já possuem o conhecimento, os equipamentos necessários

para o cultivo de hortaliças, tornando menores os custos com investimentos a para implantação do segmento aquícola.

Atualmente os produtores hidropônicos estão familiarizados com a utilização de sais minerais, as quais representam um custo baixo na produção de hortaliças. No Brasil, por exemplo, 1000 L de solução hidropônica custam aproximadamente R\$7,00. A junção dos sistemas será possível se a produção de organismos aquáticos não prejudicar a qualidade das plantas produzidas e não onerar o cultivo de forma excessiva. Para isto é importante focar em diminuir as relações de ração/planta/dia utilizada pra nutrir os sistemas aquapônicos.

As pesquisas em aquaponia têm aumentado bastante nos últimos anos; porém, não há muitas com enfoque em balanços de massas e controle de nutrientes, sendo que as disponíveis focam principalmente nas relações de nitrogênio, fósforo e potássio (Delaide et al., 2016). Ficam vagos estudos mais completos que avaliem um perfil maior de minerais e sua interação entre os organismos de cultivo, níveis de produção, demanda nutricional e a qualidade final da produção.

O objetivo deste trabalho foi testar a complementação mineral (*blend* de minerais com foco no K, Ca, Mg, Mn e Fe) e avaliar o fluxo de nutrientes em sistemas de cultivo aquapônico de tilápia e alfaces. Espera-se que a utilização de sais minerais permita diminuir as relações diárias utilizadas sem afetar o desenvolvimento e qualidade dos peixes e, com isto, atenuar as barreiras encontradas no cenário nacional para o desenvolvimento da aquaponia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

O experimento foi realizado do dia 19 de janeiro de 2017 a 20 de fevereiro de 2017 no Laboratório de Aquicultura (LAQ) do Centro de Educação Superior da Região Sul (CERES), da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), localizado no município de Laguna, Santa Catarina, Brasil (latitude -28.4702 e longitude -48.7777). O dispositivo experimental foi construído dentro de uma estufa agrícola (6 m x 3 m, 18 m² de área e 3 m altura máxima do arco), com filme plástico de 150 µ e coberta com tela de sombreamento preta (Sombrite®) para redução de 50% da intensidade luminosa.

2.2 Unidades experimentais

O experimento consistiu em 6 tratamentos com 3 níveis de ração (g/planta/dia: 0,5, 1,0, e 2,0) e dois níveis de minerais (com e sem complementação mineral) para cada nível de ração. O experimento teve duração de 32 dias, com dois ciclos de cultivo de plantas e um de peixes.

Cada sistema foi composto de um tanque matriz circular (500 L volume útil) para o cultivo dos peixes (denominado “macrocosmo”) e três caixas retangulares plásticas com volume útil de 80 L (19 cm de altura e 0,42 m²/cada) para compor a bancada hidropônica. O modelo de aquaponia utilizado foi o de bandejas flutuantes (Lennard e Leonard, 2006), utilizando uma placa de isopor (densidade de 18 kg.m⁻³ e espessura de 30 mm) com área igual à das caixas. Além disso, cada sistema continha um filtro mecânico do tipo sedimentador (20 L de volume útil), um filtro biológico (60 L de volume útil) com tampas tipo “PET” e cascalho como substrato para fixação das colônias de bactérias nitrificantes, aeradas através de um pedaço de 20 cm de mangueira micro perfurada (Aerotube®), totalizando 810 L de volume útil no sistema. A recirculação da água ocorreu por gravidade do tanque de cultivo até o biofiltro, posteriormente foi bombeada (bomba submersa de 84 W) para as respectivas bancadas de cultivo hidropônico, com vazão total média de 8 L.min⁻¹ e, finalmente, retornando para o tanque de cultivo de peixes por gravidade.

2.3 Material biológico

2.3.1 Peixes

Nos macrocosmos foram estocados juvenis de tilápia *Oreochromis niloticus* da linhagem Gift provenientes da Piscicultura Panamá com peso de 21,48 ± 1,74 g. As biomassas foram dimensionadas de acordo com a relação de ração utilizada nos tratamentos (0,5, 1,0 e 2,0 g/planta/dia). Para manter o equilíbrio das relações sem diminuir o volume útil de cada sistema e utilizar as mesmas densidades de estocagem, foi utilizado um cercado com malha plástica de 2 mm nos tanques que receberam 0,5 e 1,0 g ração/planta/dia mantendo a mesma densidade de estocagem entre os tratamentos (1,3 kg.m⁻³).

Os peixes foram marcados individualmente (alfinete com miçangas coloridas, preso ao pedúnculo caudal) identificando cada indivíduo do experimento.

2.3.2 Plantas

A espécie selecionada para o experimento foi a alface tipo lisa (*Lactuca sativa*). As caixas de cultivo hidropônico foram povoadas com mudas de ~6 cm (adquiridas no comércio local) e distribuídas nas bandejas flutuantes a uma densidade de 20 plantas.m⁻² (nove plantas por caixa), e cultivadas durante 2 ciclos de 16 dias.

Para o plantio, as raízes foram lavadas retirando o substrato de cultivo inicial e alocadas com substrato inerte (brita de 0,8 mm) em vasos rede (3,5 cm de diâmetro e 5 cm de altura), específicos para cultivos hidropônicos, com o intuito de padronizar as plantas e garantir que os minerais fossem provenientes apenas das fontes utilizadas no experimento (água de cultivo, ração, complementação mineral e reposição da água evaporada).

2.4 Manejo do sistema

As seguintes características de manejo foram adotadas: iluminação natural, dieta comercial Presence Nutripiscis® para tilápia de 32% de proteína bruta e 3100 de energia digestível (kcal.kg⁻¹), fornecida três vezes ao dia (09:00, 14:00 e 18:00 h), na proporção de 3% da biomassa estimada na metade do período experimental, utilizando a curva de crescimento da espécie de acordo com pesquisa realizada por Santos et al. (2013) para o período de desenvolvimento, e assim manter as quantidades de ração que as plantas recebiam e não interferir nas relações diárias (g/planta/dia).

2.5 Complementação mineral

A complementação mineral foi formulada com minerais Fe, K, Ca, Mg e Mn nas mesmas proporções utilizadas em cultivos hidropônicos de hortaliças. As concentrações dos nutrientes utilizados foram: Fe 2,0 mg.L⁻¹, K 183 mg.L⁻¹, Ca 142 mg.L⁻¹, Mg 400 mg.L⁻¹ e Mn 1,5 mg.L⁻¹, adaptados da metodologia proposta por Furlani et al. (1999) e Sonneveld e Voogt (2009).

Os sais utilizados foram cloreto de potássio (KCl), sulfato de magnésio (MgSO₄), sulfato de manganês (MnSO₄), nitrato de cálcio (Ca(NO₃)₂) e quelato de ferro 6 % (FeEDDHA).

Foi fornecido 100% da solução no primeiro dia de experimento. Posteriormente, 10% no sétimo dia e 20% no décimo terceiro dia de

cada ciclo, com a finalidade de manter a condutividade elétrica e a disponibilidade de nutrientes.

2.5 Variáveis de qualidade da água

Durante o experimento, o oxigênio dissolvido e a temperatura foram medidos duas vezes ao dia, às 9:00 e às 17:00 h (sonda YSI-55, Yellow Springs Instruments Inc., OH, EUA). O pH foi monitorado uma vez ao dia (sonda YSI-10A, Yellow Springs Instruments Inc., OH, EUA) e três vezes por semana foram realizadas análises de amônia, nitrito, nitrato e alcalinidade (Alfakit®).

Com o intuito de não interferir na entrada de nutrientes nos sistemas optou-se por não efetuar adição de bases para manutenção do pH ou controle da alcalinidade durante o período experimental.

2.6 Análises fitotécnicas e índice de qualidade da planta

Para as análises fitotécnicas foram coletados os seguintes dados iniciais e finais de cada ciclo de cultivo: altura das folhas (cm), comprimento das raízes (cm), massa fresca das folhas e raízes (g), massa seca das folhas e raízes (g) e número de folhas por planta. Com estes dados foram calculadas a produtividade ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) e a taxa de crescimento específico ($\text{TCE} = [(\ln \text{ peso úmido final das folhas} - \ln \text{ peso úmido inicial das folhas}) \cdot \text{tempo}^{-1}] \cdot 100$) ($\% \cdot \text{dia}^{-1}$).

Adicionalmente foi avaliado o índice de qualidade da planta (IQP) por meio de pontuações atribuídas aos aspectos visuais das folhas, seguindo metodologia proposta por Pinho et. al. (2017a), onde os parâmetros visuais analisados são relativos à presença de anomalias na superfície foliar, como coloração anormal (amarelada) e/ou defeitos físicos (rugosidades e queimaduras). As notas foram classificadas de A até D, representando: A) Ótima, com 5% ou menos da superfície foliar anormal; B) Boa, com até 33% de anomalias; C) Regular, com até 66% de anomalias; e D) Ruim, com 100% da superfície foliar da planta apresentando anomalias. Assim, as plantas visualmente mais saudáveis receberam nota A. A avaliação foi feita por um único avaliador treinado, buscando evitar desvios de interpretação.

2.7 Parâmetros zootécnicos

Os parâmetros zootécnicos avaliados ao final do período experimental foram: peso médio final (g), biomassa final (kg), taxa de

crescimento específico (TCE= $[(\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial}) \cdot \text{tempo}^{-1}] \cdot 100$) (%*dia⁻¹), conversão alimentar (consumo total de ração/ganho de biomassa), sobrevivência % = (número final de peixes/número inicial de peixes)*100, fator de condição = peso corporal (g)/comprimento total³ (cm), índice hepatossomático % = (peso do fígado/peso total)*100 e rendimento de carcaça % = (peso eviscerado / peso total)*100

Devido à limitação de infraestrutura (um macrocosmo por tratamento) e como os indivíduos foram marcados individualmente estes foram analisados como sendo uma réplica.

2.8 Análises do perfil de minerais nutrientes e balanço de massas

As análises do perfil de minerais da água foram realizadas no primeiro dia, no décimo sétimo dia (ou primeiro dia do segundo ciclo) e no trigésimo segundo (ou último dia do experimento). As amostras foram etiquetadas com dados referentes a cada tratamento e congeladas e, posteriormente, enviadas para realização das análises de minerais seguindo o Método Kjeldahl: N-nitrogênio; Digestão Nítrico-perclórico e determinação por ICP-OES (Espectrometria de Emissão Óptica por Plasma Acoplado Indutivamente): P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

Os resultados finais dos cálculos de nutrientes foram obtidos em mg.L⁻¹ e g.kg⁻¹; desta forma, o total de nutrientes no sistema foi realizado a partir da quantidade de água no sistema e da matéria seca de cada elemento analisado, posteriormente transformados em porcentagem.

O balanço de massas foi realizado quantificando a entrada, a saída e a bioacumulação de nutrientes no sistema. A entrada total de nutrientes esteve composta por aqueles presentes na água inicial, na reposição da água evaporada e na solução desses utilizada e na ração. Já a saída de nutrientes pelos mesmos presentes nas plantas ao final de cada ciclo de cultivo, nos peixes ao fim do período total de experimento, do material retido no decantador, da água ao fim do experimento e das perdas calculadas.

$$\frac{dM}{dt} = M_{\text{ração}} + M_{\text{água inicial}} + M_{\text{reposição da água}} + M_{\text{nutrientes (blend)}} - M_{\text{peixe}} - M_{\text{planta}} - M_{\text{decantador}} - M_{\text{Água no sistema}} - M_{\text{perdas}}$$

2.9 Análises estatísticas

Os dados do experimento foram analisados quanto à normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnof e quanto à homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene (Sokal e Rohlf, 1995). Os dados que não apresentaram normalidade foram transformados em arco-seno. Os dados foram analisados por ANOVA bifatorial (“complementação” e “quantidade de ração/planta/dia”). Diferenças significativas entre as médias dos tratamentos foram avaliadas pelo teste de Tukey (Sokal e Rohlf, 1995). Todos os dados foram analisados a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variáveis de qualidade da água

As variáveis de qualidade da água são apresentadas na Tabela 1. Os valores de temperatura e oxigênio dissolvido sofreram oscilações ao longo do período experimental, mas não houve diferença estatística entre os tratamentos ($P > 0,05$). Os parâmetros coletados nos tanques dos peixes não apresentaram diferença significativa com os coletados nas caixas das plantas durante o período experimental. Os parâmetros de temperatura e oxigênio dissolvido (Tabela 2), apesar das variações, mantiveram-se em níveis adequados para o cultivo de tilápias *O. niloticus* (El-Sayed, 2006).

Não houve diferença para o pH entre os tratamentos. O pH dos sistemas sem complementação mineral esteve dentro das faixas ótimas para o cultivo e crescimento de tilápia (ElSherif e El-Feky, 2009a), de acordo com Wheaton et al. (1994) a faixa de pH encontrada nos tratamentos favorece o desenvolvimento e funcionamento das bactérias nitrificantes. Apesar dos valores de pH estarem dentro dos níveis ideais propostos para tilápia do Nilo, os sistemas complementados com mineral tiveram o pH mais baixo, porém dentro da faixa ideal recomendada para o cultivo de hortaliças (pH ~6,5) em sistemas hidropônicos (Sonneveld e Voogt, 2009; Tyson et al., 2004). O pH pode ter afetado negativamente o desenvolvimento das plantas nos sistemas não complementados com minerais, onde este apresentou valores superiores.

A flutuação de amônia, nitrito, nitrato, ortofosfato e alcalinidade são apresentados nos gráficos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Os níveis de NAT (nitrogênio amoniacal total) tiveram pico máximo de $1,85 \text{ mg.L}^{-1}$ na terceira semana (Gráfico 1; sistema com 1g/planta/dia e complementação mineral); posteriormente, os níveis decresceram para valores aceitáveis de acordo com El-Sayed (2006). Os outros tratamentos mantiveram-se abaixo do mencionado. Em sistemas de cultivo intensivo com utilização de rações com níveis proteicos elevados, os peixes podem produzir altas concentrações de amônia, elevando sua toxicidade com o aumento da temperatura e do pH (Piedras et al., 2006). Benli et al. (2008) sugerem que os níveis de amônia devem ser de menos de $2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ a fim de prevenir danos nos tecidos.

Os níveis de nitrito (NO_2^-) mantiveram-se inferiores a $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$ ao longo do período experimental, estando dentro do proposto por Al-Hafedh et al. (2003), onde se reporta que as concentrações de NO_2^- devem ser mantidas abaixo de $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ para evitar toxicidade nos peixes. O nitrato apresentou decréscimo até a terceira e quarta semana, chegando a $0,41 \text{ mg.L}^{-1}$ e, posteriormente, houve um leve aumento das concentrações nos tratamentos, atingindo um valor máximo de $1,24 \text{ mg.L}^{-1}$ na sexta semana no tratamento sem suplementação mineral e $1,0 \text{ g/planta/dia}$. Tal resultado está de acordo com o encontrado por Pinho et al. (2017a), onde foram comparados sistemas de aquaponia de água clara e bioflocos, utilizando $\sim 2,0\text{g/dia/planta}$. Os valores de nitrato encontrados nos tratamentos sem complementação mineral foram inferiores aos de cultivos hidropônicos, como observado em trabalho de Anderson et al. (2017).

Os níveis de ortofosfato apresentaram aumento durante o período experimental, saindo de um mínimo de $2,4 \text{ mg.L}^{-1}$ até um máximo de 14 mg.L^{-1} . Estes resultados foram superiores aos encontrados por Pinho et al. (2017a) em cultivos aquapônicos de tilápia e alface em água clara.

Os níveis de alcalinidade variaram entre os tratamentos com e sem complementação mineral. Nos tratamentos com complementação mineral apresentaram queda, indo de 40 mg.L^{-1} de CaCO_3 no início do experimento até 12 mg.L^{-1} de CaCO_3 na última semana. Nos tratamentos sem complementação mineral houve decréscimo até a terceira semana, de 40 mg.L^{-1} de CaCO_3 até 25 mg.L^{-1} de CaCO_3 , e posterior aumento até a semana 5, atingindo pico máximo de 60 mg.L^{-1} de CaCO_3 e, novamente, diminuição até o final do experimento. Os resultados estiveram abaixo do ideal, sendo recomendado para sistemas de aquaponia manter a alcalinidade entre 100 a 150 mg.L^{-1} (Delong e Losordo, 2012; Nelson, 2008; Timmons et al., 2002; Graber e Junge, 2009; Boyd, 1992; Boyd e Tucker, 1998). Durante o experimento não

foram adicionadas fontes de carbono para controle da alcalinidade e do pH. Os processos de nitrificação são acidificantes, baixando os níveis de CaCO_3 do sistema; por isso, para evitar a diminuição e a oscilação do pH e alcalinidade, a adição constante de fontes de carbonatos à água não pode ser evitada (Delaide et al., 2017).

Gráfico 1. Variação da amônia em sistemas de aquaponia com diferentes níveis de arraçamento e complementação mineral (mg.L^{-1}).

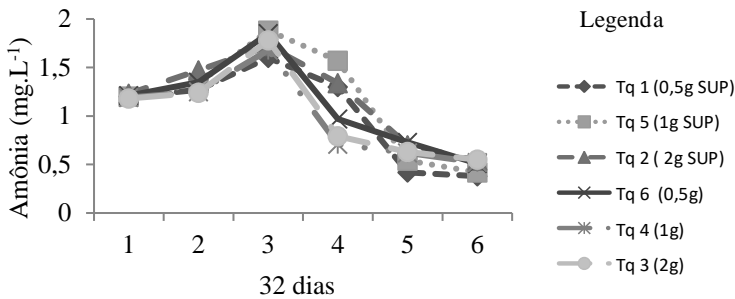


Gráfico 2. Variação do nitrito em sistemas de aquaponia com diferentes níveis de arraçamento e complementação mineral (mg.L^{-1}).

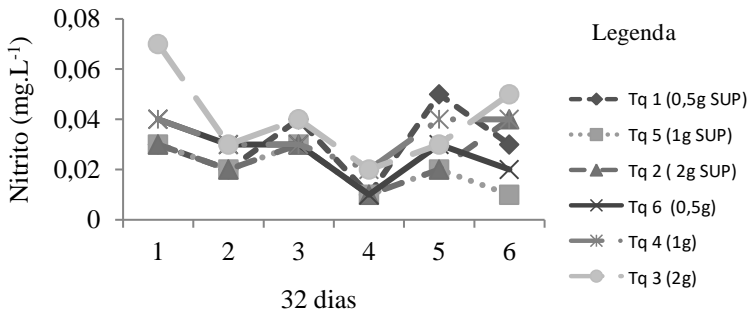


Gráfico 3. Variação do nitrato em sistemas de aquaponia com diferentes níveis de arraçamento e complementação mineral (mg L^{-1}).

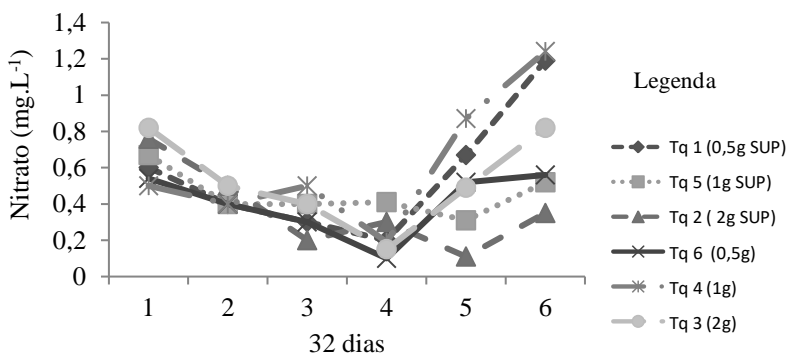


Gráfico 4. Variação do ortofosfato em sistemas de aquaponia com diferentes níveis de arraçamento e complementação mineral (mg L^{-1}).

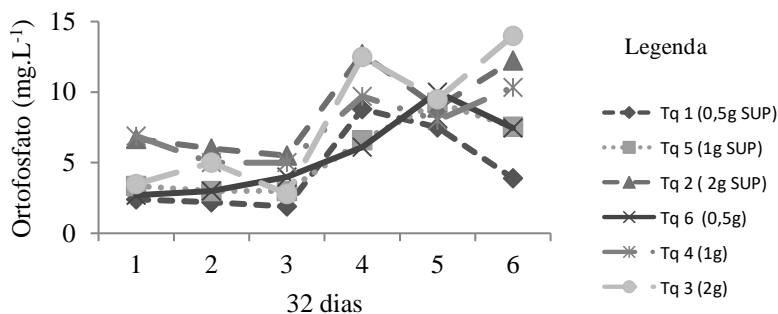


Gráfico 5. Variação da alcalinidade em sistemas de aquaponia com diferentes níveis de arraçamento e complementação mineral (mg L^{-1}).

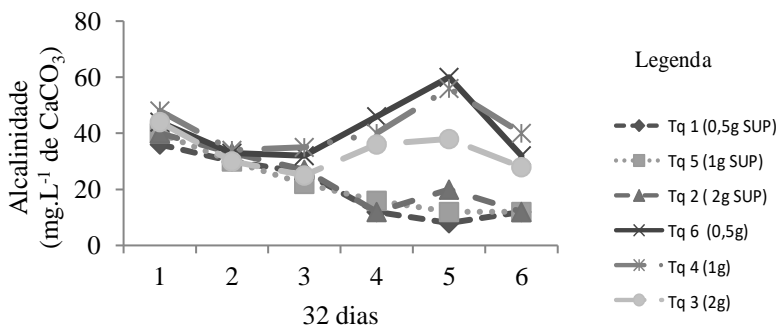


Tabela 1. Variáveis de qualidade da água no sistema de aquaponia com *Oreochromis niloticus* e *Lactuca sativa* durante período de 32 dias.

g/planta/dia Minerais	PLANTAS						CV(%)	P
	0,5	1,0		2,0		2,0		
		Com complementação		Sem complementação				
O ₂	6,16 ± 0,33	6,54 ± 0,35	6,55 ± 0,14	7,22 ± 3,39	6,52 ± 0,39	6,37 ± 0,32	NS	
	5,47 - 6,64	5,48 - 7,18	6,33 - 6,78	5,84 - 7,25	5,49 - 7,22	5,2 - 6,67	(0,185)	
Temp	27,47 ± 1,16	26,88 ± 1,26	27,04 ± 1,22	26,54 ± 1,2	26,82 ± 1,25	26,9 ± 1,2	NS	
	24,74 - 28,54	24,08 - 28,48	24,62 - 28,42	23,83 - 28,63	24,31 - 28,61	24,69 - 28,69	(0,934)	
pH	6,31 ± 0,68	6,45 ± 0,55	6,45 ± 0,56	7,52 ± 0,08	7,34 ± 0,09	7,18 ± 0,18	NS	
	5,83 - 7,7	5,9 - 7,75	5,9 - 7,75	7,35 - 7,67	7,11 - 7,47	6,84 - 7,71	(0,863)	
PEIXES								
O ₂	5,35 ± 0,33	5,66 ± 0,35	5,65 ± 0,14	6,46 ± 3,39	5,69 ± 0,39	5,58 ± 0,32	NS	
	4,66 - 5,83	4,6 - 6,3	5,43 - 5,88	5,08 - 7,25	4,66 - 6,39	4,41 - 5,88	(0,184)	
Temp	26,93 ± 1,16	26,4 ± 1,26	26,62 ± 1,22	26,11 ± 1,2	26,41 ± 1,25	26,41 ± 1,2	NS	
	24,2 - 28	23,6 - 28	24,2 - 28	23,4 - 28,2	23,9 - 28,2	24,2 - 28,2	(0,931)	
pH	6,31 ± 0,68	6,45 ± 0,55	6,45 ± 0,56	7,52 ± 0,08	7,34 ± 0,09	7,18 ± 0,18	NS	
	5,83 - 7,7	5,9 - 7,75	5,9 - 7,75	7,35 - 7,67	7,11 - 7,47	6,84 - 7,71	(0,863)	

Legenda: Dados médios ± desvio padrão (mínimo e máximo). CV(coeficiente de variação), P> 0,05; NS: não significativo

3.2 Desempenho *Oreochromis niloticus*

Os resultados para os dados de ganho de peso, conversão alimentar, taxa de crescimento específico, rendimento de carcaça e índice hepatossomático são apresentados na Tabela 2. Não houve diferença significativa ($P>0,05$) entre os tratamentos sem e com complementação de minerais nem nos tratamentos que receberam diferente relação de ração/planta/dia.

Tabela 2: Parâmetros de crescimento de tilápias com diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral durante 32 dias.

	GP	CA	TCE	RC	IHS	FC
0,5g CC	23,31 ± 5,83	1,31 ± 0,31	2,29 ± 0,41	84,37 ± 1,03	1,93 ± 0,36	2,17 ± 0,40
1,0g CC	23,00 ± 9,63	1,49 ± 0,72	2,22 ± 0,67	83,74 ± 1,01	1,89 ± 0,25	2,15 ± 0,63
2,0g CC	22,23 ± 9,33	1,42 ± 0,54	2,16 ± 0,71	83,90 ± 1,09	1,72 ± 0,14	2,08 ± 0,64
0,5g SC	21,54 ± 7,53	1,49 ± 0,50	2,11 ± 0,50	84,19 ± 2,43	2,05 ± 0,84	2,24 ± 0,87
1,0g SC	22,57 ± 10,01	1,37 ± 0,66	2,40 ± 0,72	86,60 ± 0,90	2,25 ± 0,16	1,87 ± 0,12
2,0g SC	22,01 ± 10,21	1,67 ± 1,53	2,14 ± 0,81	84,00 ± 1,56	1,89 ± 0,29	2,16 ± 0,95
Médias						
CC	22,60 ± 8,94	1,42 ± 0,57	2,19 ± 0,66	84,00 ± 1,01	1,85 ± 0,26	2,12 ± 0,61
SC	22,96 ± 9,87	1,56 ± 1,23	2,21 ± 0,75	84,93 ± 2,03	2,06 ± 0,51	2,09 ± 0,80
0,5	22,42 ± 6,67	1,40 ± 0,42	2,20 ± 0,46	84,28 ± 1,76	1,99 ± 0,61	2,21 ± 0,66
1	24,29 ± 9,82	1,42 ± 0,69	2,30 ± 0,70	85,17 ± 1,76	2,07 ± 0,27	2,01 ± 0,47
2	22,12 ± 9,73	1,54 ± 1,15	2,15 ± 0,75	83,95 ± 1,27	1,81 ± 0,23	2,12 ± 0,81
Complementação	NS	NS	NS	NS	NS	NS
P Ração	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Interação	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Legenda: Média ± Desvio padrão. GP: Ganho de peso (g); CA: Conversão alimentar; TCE: Taxa de crescimento específico (%.dia⁻¹); RC: Rendimento de carcaça (%); IHS: Índice hepatossomático; FC: Fator de condição. NS: Não significativo pelo teste de Tukey ao nível de 5%; CC: Com complementação; SC: Sem complementação.

Os índices de sobrevivência foram superiores a 93%, resultados similares foram encontrados em outros trabalhos de aquaponia (Al-

Hafedh et al., 2008; Chopin, 2012; Lam et al., 2015). Este resultado parece dever-se à rusticidade da espécie *O. niloticus* (Rakocy, 2012), aos bons níveis de qualidade da água e ao funcionamento geral do sistema. Resultados semelhantes foram encontrados por Endut et al. (2011), Rakocy (2012), Moya et al. (2014) e El-Sayed (2006) em cultivos com tilápia. Os valores de conversão alimentar estiveram entre 1,31 a 1,67, estando de acordo com o esperado para a espécie e o reportado por diversos pesquisadores. Al-Hafedh et al. (2008), alimentando *O. niloticus* de 75 g com 34% de PB, reportaram conversões alimentares de 1,5; Bakhsh & Chopin (2012), utilizando peixes de 4 g e ração com 30% de PB, obtiveram conversões alimentares de 1,6; Rakocy et al. (2006) também reportaram conversões alimentares de 1,7 a 1,8 para *O. niloticus* em sistemas de aquaponia; Delaide et al. (2017) reportaram conversões alimentares de 1,56 em sistemas de PAFFbox de aquaponia com *O. niloticus*. Porém, alguns autores relatam conversões alimentares menores do que as encontradas neste estudo, tais como 1,25 kg de ração para cada quilo de peixe produzido (El-Sayed, 2006; Timmons e Ebeling, 2013). As quantidades de ração ofertadas foram mantidas constantes, independente do aumento da biomassa corporal dos peixes a fim de não alterar as relações de ração/planta/dia, fator que também pode ter contribuído com a elevação dos resultados de conversão alimentar. Os peixes tiveram taxa de crescimento específico de $\sim 2,20 \text{ \%} \cdot \text{dia}^{-1}$ ou $\sim 0,7 \text{ g} \cdot \text{dia}^{-1}$, resultado abaixo do encontrado por Delaide et al. (2017) e Al-Hafedh et al. (2008). Outro fator que pode ter contribuído para a baixa taxa de crescimento específico é a temperatura, que esteve no nível mais baixo recomendado para cultivos de *O. niloticus*; semelhante a resultados encontrados por Delaide et al. (2017).

O fator de condição permite avaliar informações sobre a disponibilidade de alimento, época e duração do período reprodutivo e também é utilizado para avaliar o bem-estar do peixe (Demeke Admassu, 1990; Bolger e Connolly, 1989; Araujo et al., 2000; Lima-Junior et al., 2002; Bervian et al., 2006). De acordo com Braga (1986), este índice deve permanecer constante, independentemente do tamanho que o peixe possa atingir em um determinado período. Neste estudo não houve diferença significativa referente ao fator de condição entre os tratamentos. Os resultados deste fator estiveram entre $1,87 \pm 0,12$ e $2,24 \pm 0,87$, semelhantes aos encontrados por Neu et al. (2010) em juvenis de tilápia.

O índice hepatossomático (IHS) representa o percentual de massa do fígado em relação ao peso corporal (Cyrino et al., 2000). Estudos

sobre a composição dos peixes tem demonstrado correlação entre o IHS e o metabolismo do fígado (Stephensen et al., 2000). O fígado é o principal órgão utilizado para desintoxicação, sendo que alterações no seu tecido podem ser consideradas como indicadores e biomarcadores de exposição a fatores de estresse provenientes do ambiente de cultivo (Bernet et al., 2001; Velmurugan et al., 2007). Está também relacionado com a nutrição dos animais, pois é uma forma de quantificar o estoque de energia ou reservas metabólicas presentes na forma de glicogênio ou lipídeos (Cyrino et al., 2000; Yogata e Oku, 2000). No presente experimento, as medias de IHS tiveram valores entre 1,71 e 2,25, sem diferença estatística ($P > 0,05$) entre os tratamentos, indicando que a complementação mineral não teve efeito no desempenho dos indivíduos. Lenz et al. (2017), trabalhando com *O. niloticus* em sistemas de aquaponia e bioflocos em diferentes salinidades, encontraram diferenças significativas neste parâmetro, onde os peixes com maior salinidade apresentaram fígado de maior tamanho, demonstrando o esforço do indivíduo para realizar a osmorregulação e acarretando acúmulo de gordura.

3.3 Parâmetros fitotécnicos

Os dados de produção para massa fresca da folha, massa fresca da raiz, massa seca da folha, massa seca da raiz, matéria seca da folha (%), matéria seca da raiz (%), comprimento foliar, comprimento da raiz, número de folhas, comprimento da maior folha, taxa de crescimento específico ($\% \cdot \text{dia}^{-1}$) e produtividade ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) de hortaliças do primeiro ciclo são apresentados nas tabelas 3 e 4; nas tabelas 5 e 6 são apresentados os resultados de produção para o segundo ciclo.

Foram observadas diferenças significativas ($P < 0,0001$) entre os tratamentos com complementação mineral nos quesitos analisados, exceto no índice de matéria seca no primeiro ciclo. Apesar da quantidade de pesquisas nesta área crescerem anualmente, a diversidade de espécies e metodologias de produção dificultam a comparação dos trabalhos.

Os resultados de produtividade para os tratamentos com e sem complementação mineral foram de $1,14 \pm 0,12$ e $0,64 \pm 0,08$ para o primeiro ciclo, e de $1,39 \pm 0,10$ e $0,50 \pm 0,13$ para o segundo ciclo, respectivamente. Comparando com os resultados encontrados por Pinho et al. (2017a), onde se avaliou o desempenho produtivo de diferentes espécies de alface *Lactuca sativa* em sistemas de aquaponia de água clara vs. bioflocos, obteve-se para a alface tipo lisa valores de

produtividade de $1,73 \text{ kg.m}^{-2}$ em sistema de água clara com 21 dias de cultivo. Lenz et al. (2017), trabalhando com diferentes salinidades em sistemas de aquaponia com bioflocos, reportaram valores de $0,84 \text{ kg.m}^{-2}$ para a mesma variedade Lisa cultivada em sistemas de água doce durante 28 dias. Lennard e Leonard (2006), que testaram três sistemas de aquaponia (NFT, Floating e Substrato), reportaram produtividades de 4,4, 5,0 e $4,1 \text{ kg.m}^{-2}$ em 21 dias de cultivo, respectivamente. Neste trabalho foram encontradas produtividades de até $1,15 \text{ kg.m}^{-2}$ e $1,43 \text{ kg.m}^{-2}$ no primeiro e segundo ciclo, cultivadas durante 16 dias por cada ciclo, fato que corrobora a utilização de minerais específicos a fim de favorecer o aumento da produtividade. As diferenças de produtividade encontradas na pesquisa de Lennard e Leonard (2006) podem ser justificadas pela maior densidade de cultivo, 20 plantas por m^2 contra 39 plantas por m^2 nesta pesquisa, pela utilização de ração com maior porcentagem de proteína, 45% contra 32% neste estudo e, também, pelo maior tempo de cultivo, 21 dias contra 16 dias.

O número de folhas no primeiro ciclo de produção teve diferença significativa nos tratamentos com e sem complementação mineral: $24,54 \pm 2,70$ e $17,79 \pm 2,42$, respectivamente. O mesmo ocorreu no segundo ciclo, onde os resultados foram $21,59 \pm 2,24$ e $15,89 \pm 2,30$ com e sem complementação mineral, respectivamente. Porém, no primeiro ciclo também houve diferença significativa ($P < 0,001$) nos tratamentos com diferentes níveis de ração/planta/dia, onde as plantas que receberam mais ração resultaram com maior quantidade de folhas (Tabela 4).

Os resultados para massa úmida das folhas no primeiro ciclo foram de $53,30 \pm 8,26 \text{ g}$ e $29,83 \pm 6,96 \text{ g}$ para os tratamentos com e sem complementação mineral, respectivamente. No segundo ciclo, a massa úmida das folhas foi de $64,96 \pm 11,05 \text{ g}$ e $23,29 \pm 8,18 \text{ g}$ para os tratamentos com e sem complementação mineral, respectivamente. Também houve diferença significativa ($P < 0,001$) para as diferentes quantidades de ração/planta/dia, sendo esta mais elevada se comparada com o primeiro ciclo de produção. Em sistemas de cultivo hidropônico, Barbosa et al. (2015) reportaram média anual massa úmida para alfaces de 144 g; os valores inferiores encontrados no trabalho podem ser justificados devido ao fato do autor ter realizado ciclos de cultivo de 30 dias. Delaide et al. (2017) também encontraram tamanhos mais significativos ao longo do ano, mesmo em períodos de inverno com temperatura de $21 \text{ }^\circ\text{C}$, obtendo médias de 94,97g.

A taxa de crescimento específico ($\%.\text{dia}^{-1}$) no primeiro ciclo teve diferença significativa para os tratamentos com e sem complementação mineral: $25,33 \pm 1,11$ e $18,64 \pm 2,18$, respectivamente. No segundo ciclo

também se observou diferença significativa entre os tratamentos com e sem complementação mineral: $24,11 \pm 0,99$ e $20,39 \pm 1,45$, respectivamente. Observou-se também diferença significativa ($P < 0,001$) para as quantidades de ração/planta/dia, onde as plantas que receberam 0,5 g/dia apresentaram resultado inferior as que receberam 1,0 g/dia e 2,0 g/dia no segundo ciclo. Este resultado era esperado devido ao fato das plantas que receberam menos ração e não receberam complementação de minerais teriam desempenho inferior.

A capacidade de absorção de nutrientes pela planta está diretamente relacionada com o comprimento da raiz (Canellas et. Al., 2009; Mylonas e McCants, 1980). Em ambos os ciclos se observou plantas com tamanhos de raízes significativamente diferentes entre os tratamentos complementados e os não complementados, resultado que corrobora os demais índices de produção e qualidade da planta.

Os resultados fitotécnicos do segundo ciclo tiveram maior quantidade de parâmetros, apresentando interação com a quantidade de ração disponível no sistema (peso úmido da folha, peso úmido da raiz, matéria seca da folha, matéria seca da raiz, comprimento foliar, comprimento da maior folha e a taxa de crescimento específico), sendo que no primeiro ciclo estes não apresentaram interação, fator que se justifica pelo consumo dos minerais disponíveis na água de cultivo pelas plantas durante o primeiro ciclo, havendo maior influência da ração para o desenvolvimento das plantas no segundo ciclo.

Os resultados referentes aos índices de qualidade das plantas do primeiro e segundo ciclo são apresentados nos gráficos 6 e 7. Foi observada diferença significativa ($P < 0,05$) entre tratamentos com e sem complementação mineral em ambos os ciclos de cultivo, onde, para os tratamentos com complementação mineral, os índices de qualidade da planta obtiveram nota “A”, sendo assim qualificada com ótima qualidade e aceitação; fator que indica o bem-estar da planta, o que pode se associar a uma melhor distribuição dos nutrientes no sistema.

Se observou também o aumento de plantas com índice de qualidade D à medida que diminuía a relação de ração/planta/dia nos sistemas que não estavam suplementados com minerais. No sistema que recebeu 2 g/planta/dia é visível o aparecimento de plantas com índice de qualidade “B”, corrobora os demais resultados fitotécnicos.

No Gráfico 7 observa-se também a diminuição de plantas com índice de qualidade “D” à medida que aumenta a quantidade de ração utilizada. Se comparado com o primeiro ciclo, constata-se maior incidência de plantas com nota “B” e “C” nos tratamentos sem suplementação.

Tabela 3. Parâmetros fitotécnicos, níveis diferentes de arraçoamento e complementação mineral no 1º ciclo.

Tratamento	Massa fresca		Massa seca		Massa seca		Matéria seca		Matéria seca	
	folha (g)	raiz (g)	folha (g)	raiz (g)	folha (%)	raiz (%)	folha (%)	raiz (%)	folha (%)	raiz (%)
0,5 g CC	53,59 ± 7,57	12,56 ± 2,07	2,23 ± 0,41 Aa	0,57 ± 0,13	4,19 ± 0,73	4,63 ± 1,13				
1,0 g CC	53,25 ± 10,29	12,95 ± 2,50	1,97 ± 0,45 Ab	0,58 ± 0,17	3,7 ± 0,73	4,55 ± 1,25				
2,0 g CC	53,06 ± 6,83	13,5 ± 3,77	1,85 ± 0,44 Ab	0,53 ± 0,15	3,48 ± 0,71	4,10 ± 1,34				
0,5 g SC	27,75 ± 5,46	7,59 ± 1,48	1,26 ± 0,19 Ba	0,35 ± 0,06	4,60 ± 0,65	4,71 ± 0,74				
1,0 g SC	29,74 ± 7,16	8,20 ± 1,57	1,28 ± 0,24 Ba	0,36 ± 0,09	4,40 ± 0,74	4,39 ± 0,91				
2,0 g SC	31,00 ± 7,66	8,66 ± 2,04	1,31 ± 0,21 Ba	0,38 ± 0,12	4,18 ± 0,52	4,42 ± 1,00				
MÉDIAS										
CC	53,30 ± 8,26 A	13,02 ± 2,87 A	2,02 ± 0,46 A	0,56 ± 0,15 A	3,81 ± 0,77 A	4,43 ± 1,25				
SC	29,83 ± 6,96 B	8,15 ± 1,75 B	1,28 ± 0,22 B	0,36 ± 0,09 B	4,39 ± 0,66 B	4,51 ± 0,89				
0,5 g	40,67 ± 14,59	10,07 ± 3,08	1,74 ± 0,58 a	0,46 ± 0,15	4,40 ± 0,72 a	4,67 ± 0,95				
1,0 g	41,49 ± 14,76	10,58 ± 3,17	1,63 ± 0,50 ab	0,47 ± 0,17	4,08 ± 0,80 b	4,47 ± 1,09				
2,0 g	42,53 ± 12,83	11,10 ± 3,89	1,58 ± 0,44 b	0,45 ± 0,15	3,83 ± 0,71 b	4,26 ± 1,18				
Complementação	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	NS			
P	NS	NS	0,005	NS	<0,0001	NS	NS			
Interação	NS	NS	<0,001	NS	NS	NS	NS			

Legenda: CC: Com complementação mineral; CS: Sem complementação mineral; na parte superior da tabela, letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre a mesma quantidade de ração e diferentes níveis de minerais; letras minúsculas mostram a interação entre diferentes quantidades de ração e mesma concentração de mineral; na parte inferior da tabela letras maiúsculas indicam diferença entre os tratamentos com e sem complementação de mineral e letras minúsculas indicam diferença entre os níveis de arraçoamento (P<0,05).

Tabela 4. Parâmetros fitotécnicos, níveis diferentes de arraçoamento e complementação mineral no 1º ciclo.

Tratamento	Comprimento foliar (cm)	Comprimento raiz (cm)	Número de folhas	Comprimento maior folha (cm)	TCE (%/dia)	Produtividade (kg/m ³)
0,5 g CC	22,03 ± 1,22	27,30 ± 3,73 Aa	23,67 ± 2,22	18,57 ± 1,01	24,16 ± 0,90	1,15 ± 0,10
1,0 g CC	22,54 ± 2,18	25,02 ± 3,45 Ab	23,96 ± 2,53	18,65 ± 1,09	24,06 ± 1,25	1,14 ± 0,21
2,0 g CC	22,65 ± 1,09	24,33 ± 2,54 Ab	26,00 ± 2,77	18,77 ± 0,79	24,11 ± 0,80	1,1 ± 0,09
0,5 g SC	17,88 ± 2,45	12,61 ± 2,09 Bb	17,22 ± 2,15	14,98 ± 1,15	19,99 ± 1,22	0,59 ± 0,07
1,0 g SC	17,94 ± 1,24	13,39 ± 2,71 Bab	17,67 ± 2,47	15,54 ± 0,94	20,36 ± 1,55	0,64 ± 0,10
2,0 g SC	19,46 ± 2,38	15,15 ± 2,68 Ba	18,48 ± 2,53	15,78 ± 1,03	20,83 ± 1,48	0,69 ± 0,08
MÉDIAS						
CC	22,40 ± 1,58 A	25,55 ± 3,48 A	24,54 ± 2,70 A	18,66 ± 0,96 A	24,11 ± 0,99 A	1,14 ± 0,12 A
SC	18,43 ± 2,20 B	13,72 ± 2,70 B	17,79 ± 2,42 B	15,44 ± 1,09 B	20,39 ± 1,45 B	0,64 ± 0,08 B
0,5 g	19,95 ± 2,84	19,96 ± 8,00	20,44 ± 3,91 b	16,78 ± 2,10	22,08 ± 2,36	0,87 ± 0,31
1,0 g	20,24 ± 2,91	19,20 ± 6,63	20,81 ± 4,03 b	17,10 ± 1,87	22,21 ± 2,33	0,89 ± 0,31
2,0 g	21,06 ± 2,44	19,74 ± 5,31	22,24 ± 4,62 a	17,27 ± 1,76	22,47 ± 2,03	0,91 ± 0,26
Complementação	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
P	NS	NS	<0,0001	NS	NS	NS
Interação	NS	<0,0001	NS	NS	NS	NS

Legenda: CC: Com complementação mineral; SC: Sem complementação mineral; na parte superior da tabela, letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre a mesma quantidade de ração e diferentes níveis de minerais; letras minúsculas mostram a interação entre diferentes quantidades de ração e mesma concentração de mineral; na parte inferior da tabela letras maiúsculas indicam diferença entre os tratamentos com e sem complementação de mineral e letras minúsculas indicam diferença entre os níveis de arraçoamento (P<0,05).

Tabela 5. Parâmetros fitotécnicos, níveis diferentes de arraçoamento e complementação mineral no 2º ciclo.

Tratamento	Massa fresca		Massa seca		Matéria seca		Matéria seca	
	folha (g)	raiz (g)	folha (g)	raiz (g)	folha (%)	raiz (%)	folha (%)	raiz (%)
0,5 g CC	66,53 ± 12,44 Aa	13,81 ± 2,42 Aa	2,21 ± 0,37	0,44 ± 0,10	3,37 ± 0,53 Bb	3,24 ± 0,61 Bb		
1,0 g CC	63,44 ± 8,10 Aa	11,52 ± 2,09 Ab	2,85 ± 0,39	0,53 ± 0,15	4,51 ± 0,39 Ba	4,63 ± 0,99 Ba		
2,0 g CC	64,91 ± 12,27 Aa	14,70 ± 4,20 Aa	2,74 ± 0,52	0,63 ± 0,18	4,25 ± 0,52 Ba	4,38 ± 0,86 Ba		
0,5 g SC	17,18 ± 5,03 Bb	5,77 ± 1,53 Ba	1,23 ± 0,32	0,31 ± 0,08	7,50 ± 2,51 Aa	5,37 ± 0,44 Aa		
1,0 g SC	24,34 ± 6,64 Ba	6,44 ± 1,52 Ba	1,58 ± 0,31	0,36 ± 0,09	6,70 ± 1,12 Aab	5,65 ± 0,85 Aa		
2,0 g SC	28,35 ± 8,37 Ba	6,87 ± 1,47 Ba	1,73 ± 0,35	0,39 ± 0,07	6,35 ± 1,39 Ab	5,74 ± 0,64 Aa		
MÉDIAS								
CC	64,96 ± 11,05 A	13,34 ± 3,30 A	2,60 ± 0,51 A	0,53 ± 0,16 A	4,05 ± 0,69 B	4,08 ± 1,02 A		
SC	23,29 ± 8,18 B	6,36 ± 1,56 B	1,51 ± 0,39 B	0,35 ± 0,09 B	6,85 ± 1,82 A	5,59 ± 0,67 B		
0,5 g	41,86 ± 26,62 a	9,79 ± 4,53 ab	1,72 ± 0,60 b	0,38 ± 0,11 a	5,44 ± 2,75	4,30 ± 1,20 a		
1,0 g	43,89 ± 21,05 ab	8,98 ± 3,14 b	2,22 ± 0,73 a	0,45 ± 0,15 b	5,60 ± 1,38	5,14 ± 1,05 b		
2,0 g	46,63 ± 21,18 b	10,78 ± 5,04 a	2,23 ± 0,67 a	0,51 ± 0,18 c	5,30 ± 1,49	5,06 ± 1,02 b		
Complementação	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	NS	<0,001
Interação	<0,001	<0,001	NS	NS	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Legenda: CC: Com complementação mineral; SC: Sem complementação mineral; na parte superior da tabela, letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre a mesma quantidade de ração e diferentes níveis de minerais; letras minúsculas mostram a interação entre diferentes quantidades de ração e mesma concentração de mineral; na parte inferior da tabela letras maiúsculas indicam diferença entre os tratamentos com e sem complementação de mineral e letras minúsculas indicam diferença entre os níveis de arraçoamento (P<0,05).

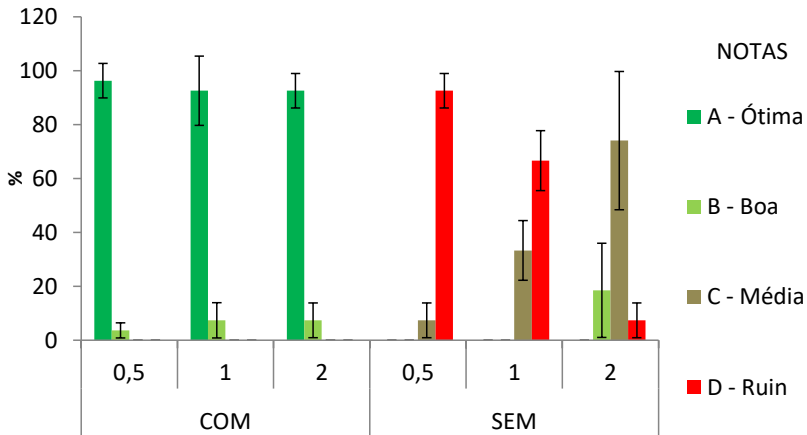
Tabela 6. Parâmetros fitotécnicos, níveis diferentes de arraçoamento e complementação mineral no 2º ciclo.

Tratamento	Comprimento foliar (cm)	Comprimento raiz (cm)	Número de folhas	Comprimento maior folha (cm)	TCE (%/dia)	Produtividade (kg/m ³)
0,5 g CC	23,91 ± 2,32 Aa	27,20 ± 4,53 Aa	21,70 ± 1,92 Aa	20,83 ± 1,84 Aa	25,46 ± 1,25 Aa	1,43 ± 0,17
1,0 g CC	23,32 ± 1,44 Aa	20,46 ± 2,09 Ab	21,63 ± 1,86 Aa	20,03 ± 1,16 Aa	25,23 ± 0,79 Aa	1,36 ± 0,07
2,0 g CC	23,57 ± 1,41 Aa	19,61 ± 3,17 Ab	21,44 ± 2,87 Aa	20,68 ± 1,20 Aa	25,30 ± 1,25 Aa	1,39 ± 0,08
0,5 g SC	14,57 ± 1,71 Bb	9,46 ± 2,35 Bb	14,96 ± 2,01 Bb	12,98 ± 1,55 Bb	16,87 ± 1,74 Bc	0,37 ± 0,04
1,0 g SC	16,52 ± 1,83 Ba	10,67 ± 2,09 Bab	15,70 ± 1,90 Bab	14,68 ± 1,64 Ba	19,05 ± 1,81 Bb	0,52 ± 0,06
2,0 g SC	17,39 ± 1,89 Ba	11,50 ± 1,73 Ba	17,00 ± 2,54 Ba	15,17 ± 1,72 Ba	20,01 ± 1,72 Ba	0,61 ± 0,14
MÉDIAS						
CC	23,60 ± 1,77 A	23,76 ± 4,74 A	21,59 ± 2,24 A	20,52 ± 1,46 A	25,33 ± 1,11 A	1,39 ± 0,10 A
SC	16,16 ± 2,17 B	10,54 ± 2,21 B	15,89 ± 2,30 B	14,28 ± 1,87 B	18,64 ± 2,18 B	0,50 ± 0,13 B
0,5 g	19,24 ± 5,13 a	18,33 ± 9,64 a	18,33 ± 3,92	16,91 ± 4,30 b	21,16 ± 4,59 a	0,90 ± 0,59
1,0 g	19,92 ± 3,80 ab	15,56 ± 5,36 b	18,67 ± 3,52	17,36 ± 3,05 ab	22,14 ± 3,41 b	0,94 ± 0,46
2,0 g	20,48 ± 3,53 b	15,56 ± 4,94 b	19,22 ± 3,50	17,93 ± 3,14 a	22,65 ± 3,06 b	1,00 ± 0,44
Complementação	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
P	<0,001	<0,001	NS	<0,001	<0,001	NS
Interação	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	NS

Legenda: CC: Com complementação mineral; CS: Sem complementação mineral; na parte superior da tabela, letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre a mesma quantidade de ração e diferentes níveis de minerais; letras minúsculas mostram a interação entre diferentes quantidades de ração e mesma concentração de mineral; na parte inferior da tabela letras maiúsculas indicam diferença entre os tratamentos com e sem complementação de mineral e letras minúsculas indicam diferença entre os níveis de arraçoamento (P<0,05).

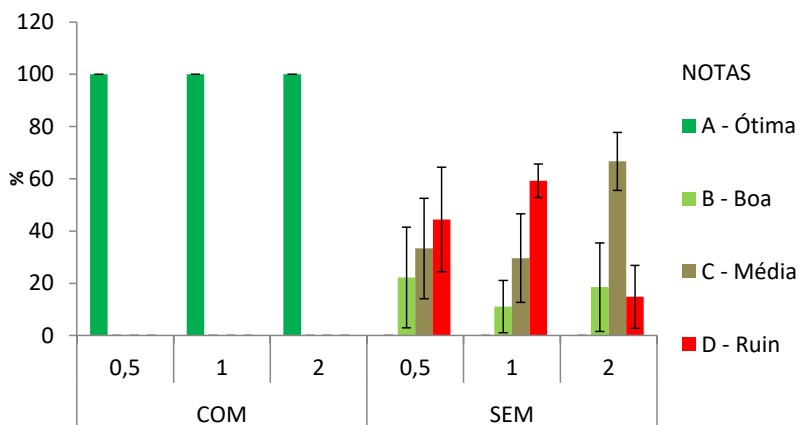
Em ambos os ciclos houve diferenças significativas entre as notas e a mesma quantidade de ração, assim como também registrou-se diferença entre as diferentes quantidades de ração e a mesma nota. Pinho et al. (2017), comparando o desempenho de diferentes alfaxes em sistemas de bioflocos e água clara, não obtiveram plantas com qualidade “D” em nenhum dos tratamentos, fato atribuído à maior ralação de ração do sistema.

Gráfico 6. Índice de qualidade da planta no 1º ciclo com diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral.



Legenda: Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa para a mesma quantidade de ração e diferentes notas; letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a mesma nota e diferentes níveis de ração.

Gráfico 7. Índice de qualidade da planta 2º ciclo com diferentes níveis de arraçoamento e complementação mineral.



Legenda: Letras maiúsculas diferentes indicam diferença significativa para a mesma quantidade de ração e diferentes notas; letras minúsculas diferentes indicam diferença significativa entre a mesma nota e diferentes níveis de ração.

3.4 Perfil de minerais e fluxo de nutrientes

O monitoramento dos nutrientes permite identificar quais são os principais meios de entrada e saída destes no sistema. Também é possível mapear onde ficaram retidos e onde ocorreram perdas durante os ciclos de cultivo (Seawright et al., 1998; Delaide et al., 2017; Wongkiew et al., 2017). Este fator é importante para o desenvolvimento responsável da atividade aquícola, evitando desperdício e liberação excessiva de nutrientes no meio ambiente.

Convertendo os valores totais de entrada de nutrientes em uma relação dos mesmos com a quantidade de N é possível comparar os *inputs* com os utilizados em sistemas de hidroponia e, desta forma, identificar quais nutrientes estão em falta ou em excesso. Na Tabela 7 se apresentam os resultados da quantidade de nutrientes analisados na ração, o cálculo de nutrientes complementados via “Blend” e o cálculo destes na solução padrão. A Tabela 8 apresenta os macro e micro nutrientes e sua relação com o N e sua comparação com as formulações hidropônicas propostas por Furlani et al. (1999) e Resh (2012).

Tabela 7: Entrada de minerais em sistema de cultivo aquapônico.

	Unidade	N- Nitrato	Fósforo	Cloreto	Enxofre	Potássio	Sódio	Cálcio	Magnésio	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
Formulação Inicial Furlani et al. (1999)	mg.L ⁻¹	198	39	-	52	182	-	142,5	40	0,4	0,02	2	0,4	0,06
Blend total calculado 160%	mg.L ⁻¹	316,8	62,4	-	83,2	291,2	-	228	64	-	-	3,2	0,64	0
Blend total analisado 160%	mg.L ⁻¹	200,8	0,74	289,6	63,4	284,05	48,635	208,8	47,652	-	-	3,36	0,61	0
Nutrientes na ração	g.kg ⁻¹	42,269	9,786	-	3,395	6,275	-	18,608	2,197	0,0025	0,0147	0,9418	0,0969	0,0984
	Tratamento	N- Nitrato	Fósforo	Cloreto	Enxofre	Potássio	Sódio	Cálcio	Magnésio	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
Total de nutrientes que entram no sistema	0,5 g com	194,67	9,961	284,53	59,854	238,99	62,789	208,27	47,154	0,023	0,013	3,248	0,574	0,055
	0,5 g sem	30,196	9,317	46,296	8,888	9,022	22,906	39,341	8,561	0,022	0,008	0,522	0,073	0,05
	1,0 g com	215,8	14,854	284,53	62,452	242,49	63,284	218,38	48,387	0,022	0,016	3,719	0,622	0,105
	1,0 g sem	55,175	14,287	53,484	11,11	12,471	24,599	49,414	9,845	0,021	0,016	0,973	0,135	0,11
	2,0 g com	258,08	24,641	284,531	64,948	248,41	62,789	236,184	50,449	0,025	0,033	4,661	0,719	0,208
	2,0 g sem	97,445	24,073	53,484	14,406	18,706	24,544	67,933	12,027	0,024	0,03	1,944	0,232	0,208

Legenda: Entrada total de nutrientes nos diferentes sistemas (em mg.L⁻¹ e g.kg⁻¹) referente aos resultados das análises laboratoriais para os minerais em estudo.

Tabela 8: Macro e micronutrientes e sua relação com N em sistema de aquaponia comparada com Furlani et al. (1999) e Resh (2012).

	N	Fósforo	Cloreto	Enxofre	Potássio	Sódio	Cálcio	Magnésio	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
Relação N em													
Furlani et al. (1999)	1	0,197	0	0,263	0,919	0	0,72	0,202	0,002	0,0001	0,0101	0,002	0,0003
Relação N em Resh (2012)													
0,5 g com	1	0,051	1,462	0,307	1,228	0,323	1,07	0,242	0,0001	0,0001	0,0167	0,0029	0,0003
0,5 g sem	1	0,309	1,533	0,294	0,299	0,759	1,303	0,284	0,0007	0,0003	0,0173	0,0024	0,0017
1,0 g com	1	0,069	1,318	0,289	1,124	0,293	1,012	0,224	0,0001	0,0001	0,0172	0,0029	0,0005
1,0 g sem	1	0,259	0,969	0,201	0,226	0,446	0,896	0,178	0,0004	0,0003	0,0176	0,0024	0,002
2,0 g com	1	0,095	1,102	0,252	0,963	0,243	0,915	0,195	0,0001	0,0001	0,0181	0,0028	0,0008
2,0 g sem	1	0,247	0,549	0,148	0,192	0,252	0,697	0,123	0,0002	0,0003	0,02	0,0024	0,0021

Legenda: Relação entre a quantidade de nitrogênio com os demais minerais. A unidade utilizada não interfere no resultado pode ser analisado com mg.L^{-1} ou também como g.1000 L .

Comparando a relação de N com nutrientes nas diferentes soluções é visível que a solução hidropônica proposta por Furlani et al. (1999) possui concentrações menores ou iguais ao proposto por Resh (2012); entretanto, nos sistemas de aquaponia esses resultados foram variáveis, dependendo do nutriente e do tratamento, os quais possuíam níveis superiores ao recomendado por ambos autores (Tabela 8).

O total da entrada de nitrogênio apresentou níveis superiores aos propostos por ambos os autores. Os sistemas com complementação mineral apresentaram até 32% a mais do proposto por Furlani et al. (1999); já os sistemas que não receberam complementação tiveram valores inferiores, de até 84% (tratamento 0,5 g/planta/dia) do proposto por Furlani et al. (1999) e 90% do proposto por Resh (2012). A ração no sistema de cultivo representou de 69,99% (0,5 g/planta/dia) a 86,75% (2 g/planta/dia) do total da entrada de nitrogênio nos sistemas não complementados. A complementação mineral foi responsável pela maior porcentagem na entrada de nitrogênio, entre 83,5% (0,5 g/planta/dia) e 62,9% (2 g/planta/dia). Delaide et al. (2017), analisando os minerais em sistema de aquaponia PAFF Box, também identificaram a ração como sendo a principal fonte de nitrogênio em sistemas não complementados com minerais.

As plantas cultivadas nos sistemas aquapônicos captam o nitrogênio sob a forma de NO_3^- devido ao fato deste estar presente em maior quantidade que o NH_4^+ e o NO_2^- (Rakocy et al., 2006; Hu et al., 2015). A saída de NO_3^- do sistema é visível em todos os tratamentos, tendo ficado concentrado nas plantas entre $43,6 \text{ g.kg}^{-1}$ (0,5 g/planta/dia sem complementação) e $51,6 \text{ g.kg}^{-1}$ (1,0 g/planta/dia com complementação).

A relação N:P foi até 6 vezes maior nos sistemas sem complementação do que nos sistemas complementados (0,5 g/planta/dia). A relação N:K apresentou quantidades superiores de até 4,9 vezes nos sistemas complementados (1,0 g/planta/dia), diferente do ocorrido com o fósforo. Fatores que são melhor explicados observando a Tabela 7, onde é visível que os sistemas complementados tiveram maiores quantidades de N.

A principal forma de entrada de cálcio nos sistemas não complementados foi pela água inicial de cultivo. Nos sistemas complementados a adição de nitrato de cálcio elevou em até 5,2 vezes as quantidades deste mineral (0,5 g/planta/dia). A relação com N ficou abaixo do recomendado por Furlani et al. (1999) apenas no tratamento de 2,0 g/planta/dia sem complementação.

A entrada de sódio em sistemas de aquaponia ocorre principalmente através da liberação do mesmo pela ração e pelos peixes; este mineral não foi quantificado na ração, e apresentou entrada no sistema pela água inicial de cultivo e reposição da água evaporada. No entanto, o valor encontrado na água ao fim do experimento foi levemente maior que o valor inicial, comprovando alguma forma de entrada não quantificada. De acordo com Delaide et al. (2016) e Vermeulen (2012), este nutriente não é bem absorvido pelas plantas, corroborando o resultado das plantas e da água final não apresentarem bioacumulação, diferente do encontrado por Delaide et al. (2017) em sistema de “PAFF box”, onde as plantas apresentaram uma leve bioacumulação assim como a água de cultivo. A diferença entre os resultados pode ser justificada pelo curto período experimental deste estudo.

Nos sistemas sem complementação mineral a entrada de Cl deu-se unicamente através da água inicial, este não sofreu perdas nem bioacumulação em nenhum componente do sistema, estando disponível em sua totalidade na água de cultivo ao fim do experimento.

Nos sistemas com 0,5 g/planta/dia a relação N e Mg tiveram resultados dentro das quantidades da relação N reportadas por Furlani et al. (1999) e Resh (2012); porém, nos demais tratamentos esta relação não foi mantida e apresentou valores inferiores devido à maior entrada de NO_3^- .

Os micro minerais Fe e Mn apresentaram uma relação N semelhante à relação N encontrada na solução nutritiva proposta por Furlani et al. (1999); porém, de acordo com o mesmo autor, os sistemas que não receberam complementação não estavam em quantidades adequadas. A entrada de Fe nos sistemas está diretamente relacionada com a quantidade de ração que cada sistema recebeu, e também com a complementação mineral; desta forma, nos sistemas sem complementação a ração é a principal fonte deste mineral.

Via de regra, a utilização da relação entre N e minerais é uma boa metodologia para analisar o balanço de nutrientes no sistema, porém é fundamental observar as quantidades mínimas necessárias para o desenvolvimento das plantas. Este fato foi visível no sistema de 0,5 g/planta/dia sem complementação, onde, apesar de apresentar uma boa relação entre os minerais e N, a quantidade de nutrientes que entrou no sistema foi muito baixa, não sendo o suficiente para nutrir as plantas, apresentado os piores resultados no índice de qualidade da planta (gráficos 6 e 7).

Gráfico 9. Entrada e saída de nutrientes em sistema de produção aquapônico 0,5 g/planta/dia e sem complementação mineral.

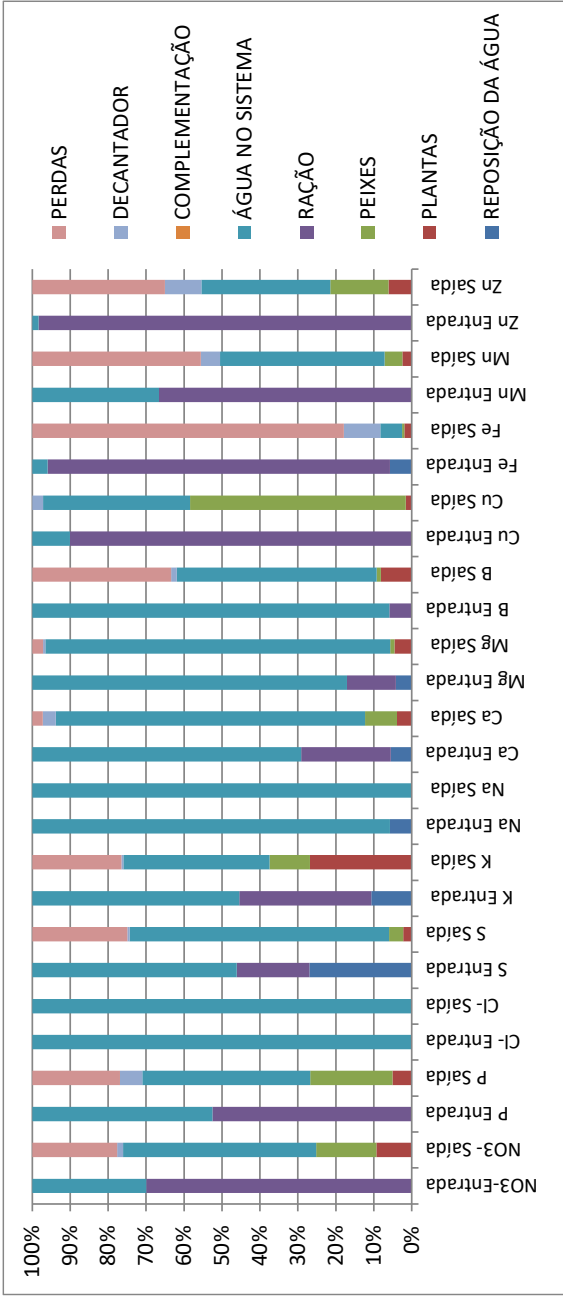


Gráfico 10. Entrada e saída de nutrientes em sistema de produção aquapônico 1,0 g/planta/dia com complementação mineral.

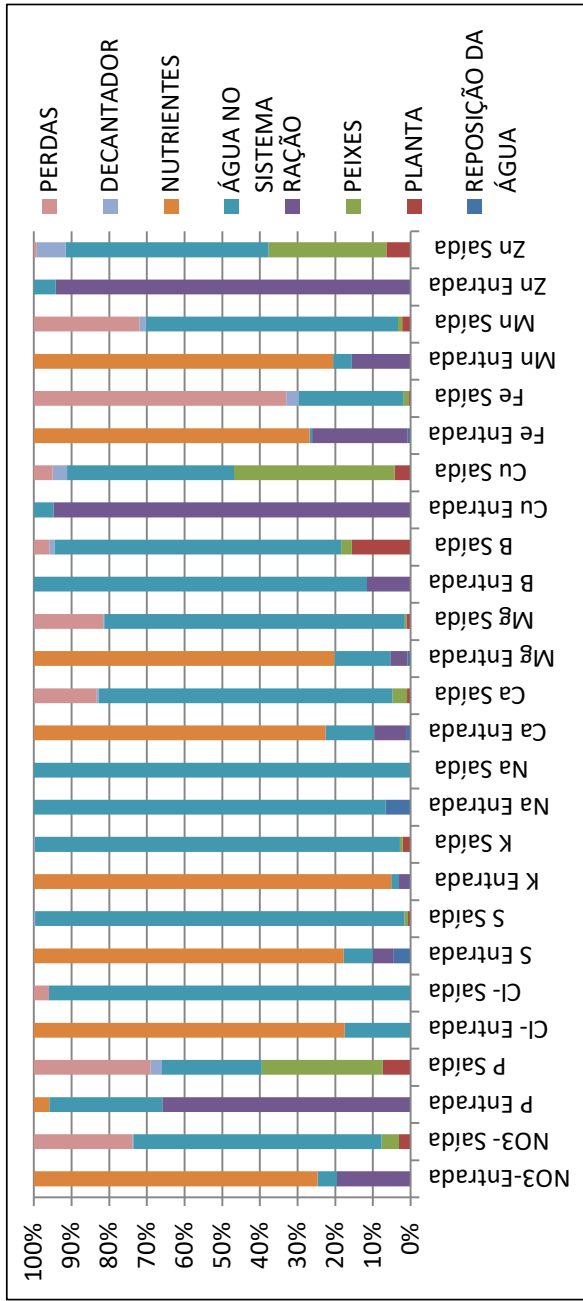


Gráfico 11. Entrada e saída de nutrientes em sistema de produção aquapônico 1,0 g/planta/dia sem complementação mineral.

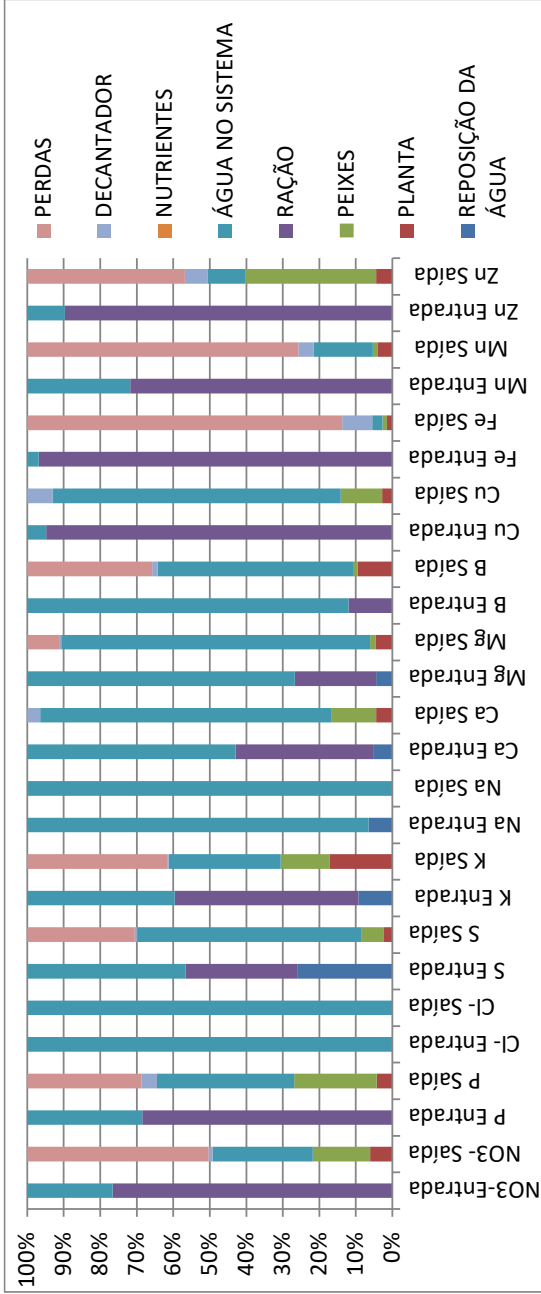


Gráfico 12. Entrada e saída de nutrientes em sistema de produção aquapônico 2,0 g/planta/dia com complementação mineral.

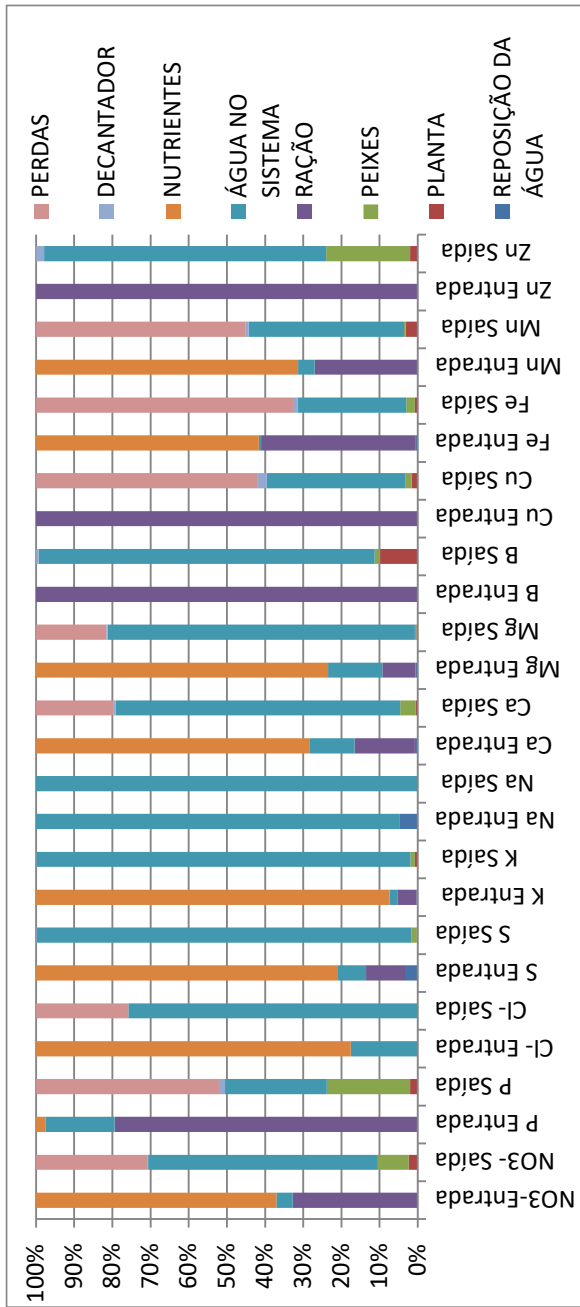
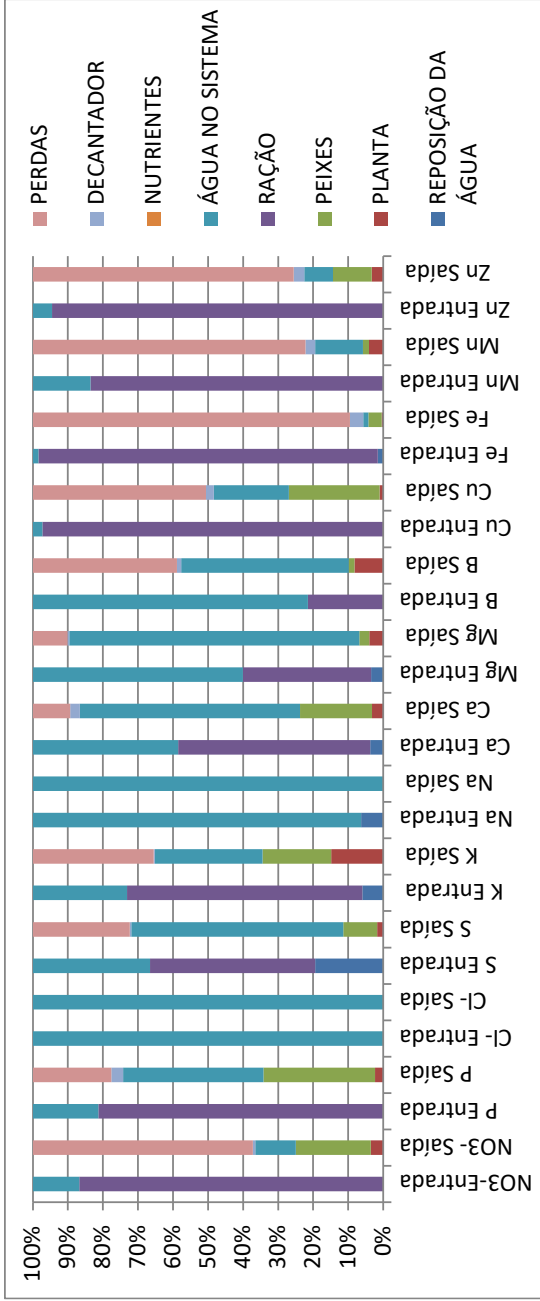


Gráfico 13. Entrada e saída de nutrientes em sistema de produção aquapônico 2g/planta/dia sem complementação mineral.



As perdas de nutrientes totalizam o depósito de matéria orgânica encontrada nos decantadores e nas perdas calculadas, estas representam uma porção elevada na porcentagem total dos nutrientes analisados.

Foram constatadas perdas de nutrientes em todos os tratamentos; entretanto, os que não receberam complementação mineral apresentaram uma porcentagem maior neste quesito.

As perdas de nutrientes podem estar relacionadas a diversos fatores, dentre eles o processo de desnitrificação, que pode contribuir para a perda de nitrogênio de forma significativa em sistemas aquapônicos, de 25% a 60% (Hu et al., 2015; Zou et al., 2016), principalmente devido a condições de anóxia presente nos decantadores e biofiltros (Castine et al., 2012; Chen et al., 2012), fator que pode ter sido acrescido neste experimento pela não retirada do lodo depositado no decantador. A oxidação da amônia via processos anaeróbios está presente em sistemas aquícolas, processo que também contribui para a perda de nitrogênio em diferentes ecossistemas assim como visto por Lahav et al. (2009), Timmons et al. (2002), van Kessel et al. (2010), Zou et al. (2016) e Hu et al. (2011). Neste experimento a perda de NO_3^- atingiu seu valor mais elevado no tratamento com 2 g/planta/dia sem complementação, chegando a 62,7 %.

A perda de nutriente teve forte relação com a sua forma de entrada. Os nutrientes adicionados na ração caracterizaram o principal meio de entrada nos sistemas sem complementação, estando de acordo com o observado por Delaide et al. (2017) em sistemas de aquaponia. A liberação destes se dá pelos peixes após o consumo e, sobretudo, de forma insolúvel, onde terminam se depositando no lodo do sistema, fator que corrobora o alto nível de perdas de fósforo, ferro e manganês.

A relação utilizada de arraçoamento nos tratamentos ficou abaixo do recomendado por Rakocy et al. (2011). Os sistemas que não receberam complementação mineral apresentaram deficiências nutricionais. De acordo com Rakocy (2006), as quantidades de nitrogênio inseridas ao sistema pelo arraçoamento devem estar além das concentrações requeridas pelas plantas, afim de proporcionar uma melhor absorção de outros nutrientes essenciais. Leonard (2011) utilizou uma relação de 16 g/m²/dia em um cultivo de tilápias e alfaces e obteve resultados de qualidade de plantas somente em cultivos com a suplementação de nutrientes (K, Ca e Fe). Estas afirmações também condizem com as observações feitas por Lenz et al. (2017), onde sistemas de aquaponia com baixa oferta de ração sem suplementação de nutrientes resultou em plantas com baixa qualidade e produtividade.

4 CONCLUSÕES

O estudo confirma que a utilização de complementação mineral em sistemas de aquaponia possibilita a diminuição das relações de ração/planta/dia e influencia positivamente no desenvolvimento das plantas sem afetar negativamente no desenvolvimento dos peixes cultivados; resultados importantes para o desenvolvimento da atividade no país já que a sua aplicação permitira diminuir custos com implementação, manejo e também aumentar a qualidade final das plantas cultivadas em sistemas aquapônicos.

Futuros trabalhos devem focar em melhorar as relações e balanços de massa para atingir melhores resultados produtivos. Ressalta-se a importância em avaliar durante um maior período para compreender melhor as influências dos sais minerais no desenvolvimento dos peixes, para isto é essencial que a adição de nutrientes no sistema seja realizada em conjunto com os cálculos de balanço de massas, e, a utilização do índice de qualidade da planta (IQP) para avaliar a qualidade de produção final das plantas em sistemas de aquaponia.

5 REFERENCIAS

- Alderman, S., 2015. The Practicality and sustainability of aquaponic agriculture versus traditional agriculture with emphasis on application in the middle-east Dissertation. Texas State University. 47, 1716–1726.
- Al-hafedh, Y. S., Alam, A., Alam, M. A., 2003. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquacultural Engineering. 29, 139-154.
- Anderson, T. S., Villiers, D., Timmons, M.B., 2017. Growth and tissue elemental composition response of butterhead Lettuce (*Lactuca sativa*, cv. Flandria) to hydroponic and aquaponic conditions. Horticulturae. 3, 43.
- Araujo, F. G., Duarte, S., Goldberg, R. S., 2000. Reproductive cycle of *Parauchenipterus striatulus* in the Ribeirão das Lajes reservoir

- Brazil. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia. 52, 3, 276-284.

- Bakhsh H., Chopin T., 2012. A variation on the IMTA theme: a land-based, closed-containment freshwater IMTA system for tilapia and lettuce. University of New Brunswick. Aquaculture Canada.
- Barbosa, G., Gadelha, F., Kublik, N., Proctor, A., Reichelm, L., Weissinger, E., Wohlleb, G., Halden, R., 2015. Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. International Journal of Environmental Research and Public Health. 12, 6879–6891.
- Benli, A. Ç. K., Köksal G., Özkul A., 2008. Sublethal ammonia exposure of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.): Effects on gill, liver and kidney histology. Chemosphere. 72, 9, 1355-1358.
- Bernet, D., Schmidt, H., Meier, W., Burkhardt-Holm, P., Wahli, T. 2001. Histopathology in fish: Proposal for a protocol to assess aquatic pollution. Journal of Fish Diseases. 22, 25-34.
- Bervian, G., Fontoura, N. F., Haimovic, M., 2006. Statistical model of variable allometric growth: otolith growth in *Micropogonias furnieri*. Journal of Fish Biology. 64(1), 196-208.
- Bolger, T. e Connolly P.L., 1989. The selection of suitable indices for the measurement and analysis of fish condition. Journal of Fish Biology. 34, 171-182.
- Braga, F. M. S., 1989. Estudo entre fator de condição e relação peso-comprimento para alguns peixes marinhos. Revista Brasileira de Biologia. 46, 2, 339-346.
- Buhmann A., Waller U., Wecker B., Papenbrock J., 2015. Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. Agricultural Water Management. 149, 102-114.

- Canellas, L. P., Spaccini, R., Piccolo, A., Dobbss, L. B., Okorokova-Façanha, A.L., de Araujo Santos, G., Olivares, F.L., Façanha, A. R., 2009. Relationships Between Chemical Characteristics and Root Growth Promotion of Humic Acids Isolated From Brazilian Oxisols. *Soil Science*. 174, 611–620.
- Castine S. A., Erler D. V., Trott L. A., Paul N. A., de Nys R., Eyre B. D., 2012. Denitrification and anammox in tropical aqua culture settlement ponds:an isotope tracer approach for evaluating N₂ production. *Plos one*. 7, 9, e42810.
- Chen, P., Li, J., Li, Q.X., Wang, Y., Li, S., Ren, T., Wang, L., 2012. Simultaneous heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by bacterium *Rhodococcus* sp. CPZ24. *Bioresoursee Technology*. 116, 266–270
- Chopin, T., 2012. Aquaculture, Integrated Multi-trophic (IMTA). In: Meyers R.A. (eds) *Encyclopedia of Sustainamility Science and Technology*. Springer, New York NY.
- Cyrino, J., Pórtz L., Martino R., 2000.Retenção de proteína e energia em juvenis de “Black Bass” *Micropterus salmoides*. *Scientia Agricola*. 57, 609-616.
- De Carvalho, R. O., Weymar Jr L. C. N., Zanovello, C. B., da Luz M. L. G, Gadotti G. I., da Luz C. A. S., Gomes, M. C., 2015. Hydroponic lettuce production and minimally processed lettuce. *Agriculture Engenier Institute*. CIGR 290-294.
- Delaide B., Delhaye G., Dermience M., Gott J., Soyeurt H., Jijakli M. H., 2017.Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system, *Aquacultural Engineering*. 78, B.
- Delaide, B., Goddek, S., Gott, J., Soyeurt, H., Jijakli, H.M., 2016. Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Sucrine) growth performance in complemented solution encourages the development of decoupled aquaponics. *Water* 1-11.
- Demeke, A., 1990. Some morphometric relationships and the condition factor of *Oreochromis niloticus* (Pisces: Cichlidae)

in Lake Awassa. SINET: Ethiopian Journal of Science.13(2), 83-96.

Diver, Steve 2006. Aquaponics - integration of hydroponics with aquaculture (PDF). ATTRA - National Sustainable Agriculture Information Service (National Center for Appropriate Technology). Retrieved April 24, 2013.

Elia, E., Popa D. C., Nicolae C. G., 2014. Startup stages of a low-tech aquaponic system. Scientific Paper Series D, Animal Science 42, 263-269.

El-Sayed, A-FM., 2006. Tilapia Culture. Oxfordshire: CABI Publishing.

Endut, A., Jusohb A., Alib N., Nikc W. B. W., 2011 Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system. Desalination and Water Treatment. 32, 1-3, 422-430.

FAO. World review of Fisheries and Aquaculture 2016, Rome, p. 2.

Furlani, P. R., 1998. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia – NFT. Campinas: Instituto Agrônômico. 30, (Documentos IAC, 168).

Furlani, P. R., 1999. Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. Informe Agropecuário. 20, 200/201, 90-98.

Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli H., Thorarinsdottir, R., 2015. Challenges of sustainable and commercial aquaponics. Sustainability. 7, 4199–4224.

Graber, A.; Junge, R., 2007. Aquaponic systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. Desalination. 246, 147-156.

Hu, B., Shen, L., Xu, X., Zheng, P., 2011. Anaerobic ammonium oxidation (anammox) in different natural ecosystems. Biochemical Society Transactions. 39, 1811–1816.

- Hu, Z. et al., 2015. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology*. 1-7.
- Klinger, D., Naylor, R., 2012. Searching for Solutions in Aquaculture: Charting a Sustainable Course. *Annual Review of Environment and Resources*. 37:1, 247-276.
- Krom, M.D., Ellner, S., Van rijm, J., Neori, A., 1995. Nitrogen and phosphorus cycling and transformations in a prototype 'non-polluting' integrated mariculture system, Eilat, Israel. *Marine Ecology Progress Series*. 118, 25-36.
- Lahav, O., Massada, I. B., Yackoubov, D., Zelikson, R., Mozes, N., Tal, Y., Tarre, S., 2009. Quantification of anammox activity in a denitrification reactor for a recirculating aquaculture system. *Aquaculture*. 288, 76-82.
- L Lam, S. S.; Ma, N. L.; Jusoh, A.; Ambak, M. A., 2015. Biological nutrient removal by recirculating aquaponic system: Optimization of the dimension ratio between the hydroponic & rearing tank components. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 102, 107-115.
- Lazar R., Lacatusu R., Rizea N., 2015. The influence of water source for preparing the nutrient solutions used for cucumbers irrigation in hydroponic greenhouse. *Research Journal of Agriculture Science*. 47, 97-102.
- Lennard, W. A., Leonard, B. V., 2006 A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International*. 14, 539-550.
- Lennard, W. 2012 Aquaponic system design parameters: fish to plant ratios (Feeding Rate Ratios). *Aquaponics solution*.
- Lenz, L. G., Durigon, E., Lapa, R. K., Emerenciano, M. G. C., 2017. Produção de alface (*Lactuca sativa*) em efluentes de um cultivo de tilápias mantidas em sistema BFT em baixa salinidade. *Boletim do Instituto de Pesca*. 43, 614-630.

- Lewis, W. M., Yopp, J. H., Schramm, L. H., Brandeburg, A. M., 1978. Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. *Transactions of American Fisheries Society*. 107, 1, 92–99.
- Liang, J., Chien, Y., 2013. Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapia - water spinach raft aquaponic system. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 85, 693-700.
- Lima-Junior, S. E., Cardone, I. B., Goiten, R., 2002. Determination of a method for calculating Allometric Condition Factor of fish. *Acta Scientiarum*. 24, 2, 397- 400.
- McMurtry, M. R., Sanders, D. C., Cure, J. D., Hodson, R. G., 1997. Effects of biofilter/ culture tank volume ratios on productivity of a recirculating fish/vegetable co-culture system. *Journal Applied Aquaculture*. 7, 33-51.
- Mooney, H., Troell, M., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*. 405, 1017-1024.
- Moya, E. A. E., Sahagún, C. A. A., Carrillo, J. M. M., Alpuche, P. J. A., Álvarez-González, C. A., Martínez-Yáñez R., 2014. Herbaceous plants as part of biological filter for aquaponics system. *Aquaculture Research*. 47, 1716-1726.
- Mylonas, V.A.; McCants, C.B., 1980. Effects of humic and fulvic acids on growth of tobacco I. Root initiation and elongation. *Plant Soil*. 54, 485-490.
- Naegel, L., 1977. Combined production of fish and plants in recirculating water. *Aquaculture*. 10, 17-24,
- Naylor, R. L., Goldburg, R. J., Primavera, J. H., Kautsky, N., Beveridge, M. C. M., Clay, J. Folke, C., Lubchenco, J., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*. 1017-24.
- Ng, W. K. and Romano, N., 2013. A Review of the Nutrition and Feeding Management of Farmed Tilapia throughout the Culture Cycle. *Reviews in Aquatic Science*. 5, 220-254.

- Piedrahita, R.H., 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*. 226, 35–44.
- Piedras, S. R. N., Pouey, J. O. F., Moraes, P. R. R., Cardoso, F. D., 2006. Lethal concentration (CL50) of unionized ammonia for pejerrey larvae in acute exposure. *Scientia Agricola*. 63, 184-186.
- Pinheiro, I., Arantes, R., Santo, C. M. E., Vieira, F. N., Lapa, K. R., Gonzaga, L.V., Fett, R., Barcelos-Oliveira, J. L., Seiffert, W. Q., 2017. Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. *Ecological Engineering*. 100, 261–267.
- Pinho, S. M., Mello, G. L., Fitzsimmons K. M., Emerenciano, G. C. M., 2017. 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*. 1-14. (b)
- Pinho, S.M., Molinari, D., Mello, G. L., Fitzsimmons, K. M., Emerenciano, M. G. C., 2017. Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. *Ecological Engineering*. 103(1): 146-153. (a)
- Rakocy, J. E., Masser, M. P., Losordo, T. M., 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics. Integrating fish and plant culture. SRAC Publication. 454, 1-16.
- Rakocy, J. E., Hargreaves, J. A., 1993. Integration of vegetable hydroponics with fish culture: a review. In: *Techniques for Modern Aquaculture - Aquacultural Engineering Conference, 1993, Spokane Proceedings*. 112-36.
- Rakocy, J. E., 1997. Integrating tilapia culture with vegetable hydroponics in recirculating systems. in B.A. Costa-Pierce and J.E. Rakocy, Eds. *Tilapia Aquaculture in the Americas*. World Aquaculture Society. 1, 163-184.

- Rakocy, J. E., 2012. Aquaponics - Integrating Fish and Plant Culture. In: Tidwell, J.H. (Ed.1). Aquaculture Production Systems. Oxford: Wiley-Blackwell, p 343–386.
- Resh, H. M., 2012. Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower. CRC Press Boca Raton, FL, Boca Raton, FL.
- Santos, V. B., Mareco, E. A., Dal Pai Silva, M., 2013. Growth curves of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) strains cultivated at different temperatures. Acta Scientiarum, Animal Science. 35, 3 235-242.
- Schmautz, Z., Graber, A., Jaenicke, S., Goesmann, A., Junge, R., Smits, T. H. M., 2017. Microbial diversity in different compartments of an aquaponics system. Archives of. Microbiology.199 613-620.
- Schneider, O., Sereti, V., Eding, E. H., Verreth, J. A. J., 2005. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. Aquacultural Engineering. 32, 379-401.
- Seawright, D. E., Stickney, R. R., Walker, R. B., 1998. Nutrient dynamics in integrated aquaculture–hydroponics systems. Aquaculture. 160, 215-237.
- Shpigel, M., Neori, A., Popper, D.M., Gordon, H. 1993. A proposed model for “environmental clean” land-based culture of fish, bivalves and seaweeds. Aquaculture. 117, 115-128.
- Sneed, K., Allen, K., Ellis J. E., 1975. Fish farming and hydroponics. Aquaculture. Fish Farmer. 18-20.
- Sokal, R., Rohlf, J., 1995. Biometry, the principles and practice of statistics in biological research. W H Freeman, New York.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., Lovatelli A., 2014. Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming U. FAO (Ed.), FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. p, 1-262 Rome, Italy.

- Sonneveld C., Voogt W. 2009 .Plant Nutrition of Greenhouse. Springer, Dordrecht.
- Stephensen, E., Svavarsson, J., Sturve, J., Ericson, G., Adolfsson-Erici, M., Förlin, L., 2000. Biochemical indicators of pollution exposure in shorthorn sculpin (*Myoxocephalus scorpius*), caught in four harbours on the southwest coast of Iceland. *Aquatic Toxicology*. 48, 431-442.
- Timmons, M. B., Ebeling, J. M., Wheaton, F. W., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., 2002. *Recirculating Aquaculture Systems*, 2nd. ed. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY.
- Tyson, R. V., Treadwell, D. D., Simonne, E. H., 2011. Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. *Horttechnology*. 21, 6-13.
- Kessel, M. A. H. J., Harhangi, H. R., van de Pas-Schoonen, K., van de Vossenbergh, J., Flik, G., Jetten, M. S. M., Klaren, P. H. M., Op den Camp, H.J.M., 2010. Biodiversity of N-cycle bacteria in nitrogen removing moving bed biofilters for freshwater recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*. 306, 177-184.
- Velmurugan, B., Selvanayagam, M., Cengiz, E. I., Unlu, E., 2007. Histopathology of lambda-cyhalothrin on tissues (gill, kidney, liver and intestine) of *Cirrhinus mrigala*. *Environmental toxicology and pharmacology*. 24, 286-91.
- Vermeulen, N.V.J., 2012. Recirculation aquaculture system (RAS) with tilapia in a hydroponic system with tomatoes. *Acta Horticulturae*. 927.
- Watten, B. J., Busch, R. L., 1984. Tropical production of tilapia (*Sarotherodon aurea*) and tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) in a small-scale recirculating water system. *Aquaculture*. 41, 271-283.
- Wheaton, F. W., Hochheimer, J. N., Kaiser, G. E., Malone, R. F., Kronen, M. J., Libey, G. S., Easter, C. C., 1994. Nitrification filter Design methods. In: Timmons, M.B., Losordo, T.M. (Eds.), *Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering and*

Design and Management. Elsevier Science. New York, NY, 121-171.

Wongkiewa, S., Hub, Z., Chandranc, K., Lee, J. W. D., Khanal, S. K., 2017. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering*. 76, 9-19.

Yogata, H., Oku, H., 2000. The effects of swimming exercise on growth and whole-body protein and fat contents of fed and unfed fingerling yellowtail. *Fisheries Science*. 66, 1100-1105.

Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Guimbaud, C., Fang, Y., 2016. Effects of pH on nitrogen transformations in media-based aquaponics. *Bioresources Technology*. 210, 81-87.

REFERENCIAS DA INTRODUÇÃO

ADLER, P.R., HARPER, J.K., WADE, E.M., TAKEDA, F., SUMMERFELT, S. T. Economic Analysis of an Aquaponic System for the Integrated Production of Rainbow Trout and Plants. **International Journal of Recirculating Aquaculture**, v 1, 2000.

BUHMANN, A.K., WALLER, U., WECKER, B., PAPENBROCK, J. Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. **Agriculture Water Management** 149:102–114. 2015

EMERENCIANO, M. G. C., MELLO, G. L., PINHO, S.M., MOLINARI, D., BLUM. M. N. Aquaponia: uma alternativa de diversificação na Aquicultura. **Panorama da Aquicultura**, v. 25, n. 147, p. 24-35, 2015.

ENDUT, A. JUSOH, A., ALI, N., WAN NIK, W.B., HASSAN, A. A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 1511–1517, 2010

FAO. World review of Fisheries and Aquaculture 2016, Rome, p. 2, 2016

FURLANI, P.R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de Hidroponia NFT. Campinas, Instituto Agronômico. **Boletim técnico**, 30p. 168, 1998.

KROM, M.D., ELLNER, S., VAN RIJN, J., NEORI, A., Nitrogen and phosphorus cycling and transformations in a prototype ‘non-polluting’ integrated mariculture system, Eilat, Israel. **Marine Ecology Progress Series** 118, 25–36. 1995.

KWAMENA, K., QUAGRAINIE, R. M. V. F., KIM, H. e MCCLAIN, V. Economic analysis of aquaponics and hydroponics production in the U.S. Midwest, **Journal of Applied Aquaculture**, 30:1, 1-14, 2017

LENNARD, W.A., LEONARD, B.V. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film

technique) in an Aquaponic test system. **Aquaculture International**, n. 14, p. 539-550, 2006.

LEWIS, W.M., YOPP, J.H., SCHRAMM, L. H., BRANDEBURG, A.M., 1978. Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system. **Transactions of the American Fisheries Society**. 107 (1), 92-99, 1978.

LOVE, D.C., FRY, J., LI, X., HILL, E., GENELLO, L., SEMMENS, K., E. THOMPSON, RICHARDET. Commercial aquaponics production and profitability: Findings from an international survey. **Aquaculture**, n. 435, p. 67-74, 2015.

NAEGEL, L., Combined production of fish and plants in recirculating water. **Aquaculture**, 10, 17-24, 1977.

NAYLOR, R. L.; GOLDBURG, R. J. ; PRIMAVERA, J. H. ; KAUTSKY, N. ; BEVERIDGE, M. C. M. ; CLAY, J. ; FOLKE, C. ; LUBCHENCO, J. ; MOONEY, H. ; TROELL, M., 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature**, 405: 1017-1024

NELSON, R.L., Aquaponic Food Production. Nelson and Pade Inc. Press, Montello, WI, USA, 218 pp. 2008.

PIEDRAHITA, R.H., Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. **Aquaculture**, 226, 35-44. 2003.

RAKOCY, J.E. Aquaponics - Integrating Fish and Plant Culture. In: **Tidwell, J.H.** (Ed.1). Aquaculture Production Systems. Oxford: Wiley-Blackwell, p. 343-386, 2012.

RAKOCY, J.E., HARGREAVES, J.A. Integration of vegetable hydroponics with fish culture: a review. In: Wang, J.K. (Ed.), **Techniques for Modern Aquaculture**. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, USA, pp. 112-136. 1993

SCHNEIDER, O., SERETI, V., EDING, E.H., VERRETH, J.A.J., Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, 32, 379-401, 2005.

SHPIGEL, M., NEORI, A., POPPER, D.M., GORDON, H.. A proposed model for “environmental clean” land-based culture of fish, bivalves and seaweeds. **Aquaculture**, 117, 115–128. 1993.

USDA, 2006. Census of aquaculture, 2005. Special Studies vol. 3.

USDA, 2012. 2012 Census of Agriculture. N. A. S. Service, (AC-12-A-51)

ANEXOS

1 – Visão geral da estufa de hidroponia.



2 – Detalhe das plantas 1ª semana de cultivo (2º ciclo).



3 – Detalhe das plantas 1ª semana de cultivo (2º ciclo).



4 – Detalhe das plantas 16º dia (2º ciclo), 2,0 g/planta/dia: à direita tratamento com complementação e à esquerda sem.



5 – Detalhe das plantas 16º dia (1º ciclo), 0,5 g/planta/dia: à esquerda tratamento com complementação e à direita sem.



6 – Detalhe das plantas 16º dia (1º ciclo), 1,0 g/planta/dia: à direita tratamento com complementação e à esquerda.

