

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
“PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS RENOVÁVEIS”

RENATA CASSEMIRO BIAGIONI

DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE DA ÁGUA EM UM SISTEMA
DE AQUAPONIA CONTENDO TILÁPIAS EM DIFERENTES DENSIDADES
DE CULTIVO, ALFACES E MACRÓFITAS AQUÁTICAS

SOROCABA-SP
2021

RENATA CASSEMIRO BIAGIONI

DESEMPENHO PRODUTIVO E QUALIDADE DA ÁGUA EM UM SISTEMA DE
AQUAPONIA CONTENDO TILÁPIAS EM DIFERENTES DENSIDADES DE CULTIVO,
ALFACES E MACRÓFITAS AQUÁTICAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de doutora em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Monica Fabiana Bento Moreira Thiersch

Coorientador: Dr. Sergio Henrique Canello Schalch

Sorocaba-SP
2021

Casemiro Biagioni, Renata

Desempenho produtivo e qualidade da água em um sistema de aquaponia contendo tilápias em diferentes densidades de cultivo, alfaces e macrófitas aquáticas / Renata Casemiro Biagioni -- 2021. 114f.

Tese de Doutorado - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Monica Fabiana Bento Moreira Thiersch
Banca Examinadora: Thiago Archangelo Freato, Welber Senteio Smith, Cláudio Roberto Thiersch, Pedro José Ferreira Filho

Bibliografia

1. Sistema de recirculação aquícola. 2. Hidroponia. 3. Produção sustentável. I. Casemiro Biagioni, Renata. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979



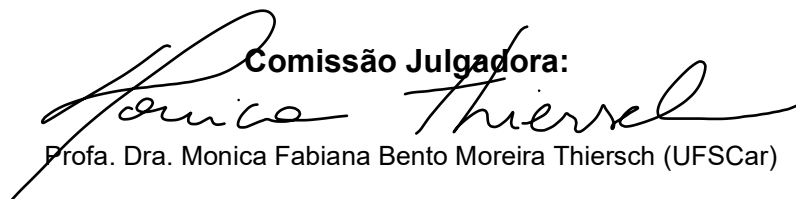
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis

Folha de Aprovação

Defesa de Tese de Doutorado da candidata Renata Cassemiro Biagioni, realizada em 14/01/2021.

Comissão Julgadora:


Prof. Dra. Monica Fabiana Bento Moreira Thiersch (UFSCar)

Prof. Dr. Thiago Archangelo Freato (ESALQ/USP)

Prof. Dr. Welber Senteio Smith (UNIP)

Prof. Dr. Claudio Roberto Thiersch (UFSCar)

Prof. Dr. Pedro Jose Ferreira Filho (UFSCar)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.

Aos meus avós (*in memoriam*).
Sei que, de algum lugar, olham por mim.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de São Carlos – campus Sorocaba, especialmente ao Programa de Pós-graduação em Planejamento e Uso dos Recursos Renováveis (PPGPUR) pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional proporcionado;

À Coordenação e CPG do PPGPUR, especialmente ao Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji e Prof. Dra. Franciane Andrade de Pádua, não só pela dedicação ao programa, mas também pelo suporte, compreensão, incentivo e apoio;

À Prof. Dra. Monica Fabiana Bento Moreira Thiersch por todo o apoio, orientação e confiança em mim depositada, além de toda a compreensão, paciência e generosidade. Serei eternamente grata pelo acolhimento e incentivo nos momentos que mais precisei;

À Prefeitura de Sorocaba, por intermédio da Secretaria do Meio Ambiente e Sustentabilidade, especialmente aos colegas de trabalho que me apoiaram durante meu período de doutoramento;

À APTA - Pindamonhangaba, especialmente ao Dr. Sergio Henrique Canello Schalch, coorientador deste trabalho; e aos funcionários e estagiários que deram apoio à pesquisa;

Ao Dr. Thiago Archangelo Freato, por compartilhar comigo toda sua experiência e o seu conhecimento; sua disposição e auxílio foram fundamentais e de extrema importância no desenvolvimento desta tese;

À Prof. Dra. Iolanda Cristina Silveira Duarte, pelo apoio e grande auxílio com as análises em laboratório das amostras de água, ao ceder toda a estrutura do LAMA, sem o qual não seria possível a realização desta pesquisa;

Ao Prof. Dr. Welber Senteio Smith, pelo apoio e parceria desde a graduação;

Aos professores e demais colegas discentes do PPGPUR e do Instituto de Pesca, pelo aprendizado e contribuição a minha formação;

À secretária do programa, Luciana Kawamura, pela disposição e eficiência tornando sempre tudo muito mais simples;

Aos professores que aceitaram o convite para participação da banca examinadora;

A minha família, por me conduzir até aqui dando todo o tipo de suporte que possibilitou minha chegada ao doutorado e compreender meus momentos de ausência e estresse. Agradeço especialmente aos meus pais, Lilian e José Roberto, minha irmã Milena, meu avô Abílio, meus tios e primos;

À Dra. Maria Clara Domingues Favara, por me dar todo o suporte, apoio e incentivo durante todos esses anos;

À Peônia Brito de M. Pereira e Maurício de Mattos Salgado que gentilmente se dispuseram a revisar este trabalho e auxiliar com as formatações e o *abstract*;

A todos que, mesmo não citados, sabem o bem que me fizeram.

RESUMO

O contínuo crescimento da população mundial e conseqüente aumento na demanda por alimento e água implicam na necessidade de maior produção de alimentos e exige investimento em pesquisas como sistemas de cultivos mais produtivos e ambientalmente responsáveis. O sistema integrado de produção de peixes e hortaliças, denominado aquaponia, permite o reaproveitamento dos nutrientes presentes na água residual da piscicultura e que seriam descartados do sistema, no crescimento de hortaliças, proporcionando a reutilização da água no cultivo dos peixes. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar um sistema de aquaponia, por meio da determinação da densidade ideal de estocagem de tilápias-do-Nilo *Oreochromis niloticus* e da qualidade da água e remoção de nutrientes do efluente piscícola pela hortaliça *Lactuca sativa* L. e pela macrófita aquática *Landoltia punctata*, visando seu melhor desempenho técnico e produtivo. Foi avaliado o desempenho produtivo dos peixes e das hortaliças, bem como sua qualidade nutricional e a qualidade da água e remoção de nutrientes pela utilização das macrófitas no sistema de tratamento terciário. O estudo foi conduzido em módulos experimentais instalados no Laboratório de Aquaponia da Symbiotec – Aquicultura e Sistemas Integrados de Produção Ltda. em Piracicaba – SP. Os resultados mostraram que diferentes densidades de cultivo de *Oreochromis niloticus* bem como a introdução da macrófita *Landoltia punctata* no sistema de tratamento, não interferiram no desempenho produtivo dos peixes, evidenciando a viabilidade da criação de tilápias em alta densidade (32 kg/m³) integrada ao sistema hidropônico de alface, com recirculação de água. A associação entre as bactérias nitrificantes do biofiltro, o cultivo hidropônico de alface e a introdução das macrófitas *Landoltia punctata* se mostraram eficientes para tratar o efluente do sistema de piscicultura intensiva e manter a qualidade da água necessária ao cultivo das tilápias, ao reduzir principalmente, os níveis de amônia, tóxica aos peixes. Quanto à produtividade das alfaces, verificou-se que a água residual do sistema de criação de tilápias se mostrou capaz de fornecer quantidades suficientes de quase todos os nutrientes necessários ao bom desenvolvimento da alface em cultivo hidropônico, dispensando assim a necessidade de suplementação com fertilizantes químicos, porém apenas o tratamento T4 (114 g de ração / m² de cultivo vegetal) apresentou resultados compatíveis com o esperado numa produção comercial.

Palavras-chave: *Oreochromis niloticus*. *Lactuca sativa* L. *Landoltia punctata*. Sistema de recirculação aquícola. Hidroponia.

ABSTRACT

The continuous growth of the world population and the consequent increase in the demand for food and water imply the need for greater production of food and requires investment in research as more productive and environmentally responsible farming systems. The integrated system of fish and vegetable production, called aquaponia, allows the reuse of nutrients present in the residual water of fish farming and which would be discarded from the system, in the growth of vegetables, providing the reuse of water in the cultivation of fish. In this context, the objective of this research was to evaluate an aquaponics system, by determining the ideal stocking density of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, and the quality of the water and removing nutrients from the fish effluent by the vegetable *Lactuca sativa* L. e by the aquatic macrophyte *Landoltia punctata*, aiming at its best technical and productive performance. The productive performance of fish and vegetables was evaluated, as well as their nutritional quality and the quality of water and removal of nutrients through the use of macrophytes in the tertiary treatment system. The study was conducted in experimental modules installed at the Symbiotec Aquaponics Laboratory - Aquicultura e Sistemas Integrados de Produção Ltda. in Piracicaba - SP. The results showed that different densities of cultivation of *Oreochromis niloticus*, as well as the introduction of the macrophyte *Landoltia punctata* in the treatment system, did not interfere in the productive performance of the fish, evidencing the viability of raising tilapia in high density integrated (32 kg/m³) with the hydroponic lettuce system, with water recirculation. The association between the nitrifying bacteria in the biofilter, the hydroponic cultivation of lettuce and the introduction of the macrophytes *Landoltia punctata* proved to be efficient in treating the effluent of the intensive fish farming system and maintaining the quality of the water necessary for the cultivation of tilapia, mainly reducing ammonia levels, toxic to fish. As for the lettuce productivity, it was found that the residual water from the tilapia farming system proved able to provide sufficient quantities of almost all the nutrients necessary for the good development of lettuce in hydroponic cultivation, thus dispensing the need for supplementation with chemical fertilizers, but only the T4 treatment (114 g of feed/m² of vegetable cultivation) showed results compatible with that expected in commercial production.

Keywords: *Oreochromis niloticus*. *Lactuca sativa* L. *Landoltia punctata*. Recirculation aquaculture system. Hydroponics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 2

FIGURA 2.1 – Estufa agrícola onde foram instalados os módulos experimentais de aquaponia utilizados neste estudo.....	42
FIGURA 2.2 – Layout ilustrativo do sistema de aquaponia.	43
FIGURA 2.3 – A e B) Vista geral dos módulos de aquaponia. C) Detalhe da placa de poliestireno extrudada para suporte das hortaliças. D) módulo de filtragem.	44
FIGURA 2.4 – Biomassa final acumulada ao final do cultivo (BF), ganho total de biomassa (GB) e consumo total de ração durante o período de cultivo (CT), conforme a densidade de peixes em cada tratamento.....	51
FIGURA 2.5 – Variação entre a quantidade de ração fornecida aos peixes (arraçoamento em gramas/dia) e a massa fresca total de alface (gramas) obtida ao final do período de cultivo. ...	56
FIGURA 2.6 – Variação entre o teor de ferro (mg/kg) acumulado pela alface e a massa fresca da parte aérea da alface – MPFA (gramas) obtida ao final do período de cultivo.....	59
FIGURA 2.7 – Temperaturas mínima e máxima do ar nos ambientes externo (mínima e máxima externa) e interno da estufa (mínima e máxima interna) e da água no sistema aquapônico (mínima e máxima água), registradas ao longo do período de experimento.	60
FIGURA 2.8 – Valores de pH da água circulante no sistema aquapônico, registrados durante o período de monitoramento.....	63
FIGURA 2.9 – Variação entre o pH registrado no sistema aquapônico e a massa fresca média de alface, obtida ao final do experimento.....	65
FIGURA 2.10 – Condutividade elétrica ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$), registrada durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.	66
FIGURA 2.11 – Variação entre a concentração de amônia (mg/L) observada no sistema aquapônico e a mortalidade (%) de peixes, registrada ao longo do experimento.....	69
FIGURA 2.12 – Concentração dos níveis de amônia (mg/L) na água dos diferentes compartimentos do sistema aquapônico, conforme o tratamento.....	70
FIGURA 2.13 – Acompanhamento dos níveis de concentração de amônia (mg/L) na água do sistema aquapônico ao longo do tempo, durante o período de experimento.....	72

Capítulo 3

FIGURA 3.1 – A) Tanque de recalque ou <i>sump</i> sem a introdução da macrófita - T1. B) Tanque de recalque ou <i>sump</i> com a introdução da macrófita <i>Landoltia punctata</i> - T2.	92
FIGURA 3.2 – Valores de pH da água circulante no sistema aquapônico, registrados durante o período de monitoramento.....	100
FIGURA 3.3 – Condutividade elétrica ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$), registrada durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.....	101
FIGURA 3.4 – Comparativo das concentrações de nitrato (mg/L), registradas em cada compartimento, entre tratamentos (T1 – sem <i>Landoltia punctata</i> ; T2 – com <i>Landoltia punctata</i>).....	104
FIGURA 3.5 – Comparativo das concentrações de ortofosfato (mg/L), registradas em cada compartimento, entre tratamentos (T1 – sem <i>Landoltia punctata</i> ; T2 – com <i>Landoltia punctata</i>).....	105

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2

TABELA 2.1 – Desempenho zootécnico das tilápias do Nilo <i>Oreochromis niloticus</i> , cultivadas em sistema de aquaponia, em diferentes densidades.	50
TABELA 2.2 – Desempenho agrônômico das alfaces <i>Lactuca sativa</i> L., cultivadas na água residual de piscicultura sob diferentes densidades de estocagem de peixes.	54
TABELA 2.3 – Teores de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de alface, determinados ao final do período de cultivo no sistema aquapônico e a faixa de valores adequados, conforme a literatura.	57
TABELA 2.4 – Resultados das análises de variâncias realizadas a partir dos dados de temperaturas mínima e máxima no ambiente externo à estufa, ambiente interno da estufa e na água do sistema aquapônico.	61
TABELA 2.5 – Teste HSD de Tukey para a diferença entre temperaturas mínima e máxima no ambiente externo à estufa, ambiente interno da estufa e na água do sistema aquapônico.	61
TABELA 2.6 – Resultado da ANOVA <i>one-way</i> realizada a partir dos dados de pH da água circulante no sistema aquapônico, registrados durante o período de monitoramento.	64
TABELA 2.7 – Teste HSD de Tukey para a diferença de pH entre os tratamentos.	65
TABELA 2.8 – Variações médias das concentrações de amônia (mg/L), conforme os tratamentos, nos diferentes compartimentos, durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.	68
TABELA 2.9 – Variações médias das concentrações de nitrito (mg/L), conforme os tratamentos, nos diferentes compartimentos, durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.	72
TABELA 2.10 – Variações médias das concentrações de nitrato (mg/L), conforme os tratamentos, nos diferentes compartimentos, durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.	73
TABELA 2.11 – Variações médias das concentrações de ortofosfato (mg/L), conforme os tratamentos, nos diferentes compartimentos, durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.	74

Capítulo 3

TABELA 3.1 – Desempenho zootécnico das tilápias <i>Oreochromis niloticus</i> , cultivadas em sistema de aquaponia, sem a introdução de macrófitas no sistema de tratamento (T1) e com a introdução de macrófitas no sistema de tratamento (T2).	95
TABELA 3.2 – Desempenho agrônômico das alfaces <i>Lactuca sativa</i> L., cultivadas na água residual de piscicultura com ou sem a introdução de macrófitas no sistema de tratamento.	97
TABELA 3.3 – Variações médias das concentrações dos compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) e ortofosfato, conforme os tratamentos, nos diferentes compartimentos, durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.	102

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	Aquaponia	18
2.2	Princípios biológicos do sistema aquapônico	19
2.3	Qualidade da água na aquaponia	21
2.4	Cultivo de <i>Oreochromis niloticus</i> em sistema de recirculação.....	22
2.5	Cultivo de <i>Lactuca sativa</i> L. em sistemas hidropônicos “DFT”	24
2.6	Relação entre a biomassa acumulada de peixes e a área de cultivo vegetal	25
2.7	Uso de <i>Landoltia punctata</i> para tratamento da água na aquaponia	26
	REFERÊNCIAS	29

CAPÍTULO 2

1	INTRODUÇÃO	39
2	MATERIAIS E MÉTODOS	42
2.1	Local do experimento.....	42
2.2	Descrição do sistema de aquaponia	43
2.3	Montagem do experimento e manejo do sistema aquapônico	45
2.4	Desempenho zootécnico dos peixes.....	46
2.5	Desempenho produtivo das hortaliças	47
2.6	Monitoramento da qualidade da água	48
2.7	Delineamento experimental e análises estatísticas.....	48
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
3.1	Desempenho produtivo dos peixes	50
3.2	Desempenho produtivo das hortaliças	53
3.3	Qualidade da água.....	60
4	CONCLUSÕES	76
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
	REFERÊNCIAS	79

CAPÍTULO 3

1	INTRODUÇÃO	89
2	MATERIAIS E MÉTODOS	91
2.1	Local do experimento.....	91
2.2	Montagem do experimento e manejo do sistema aquapônico	91
2.3	Desempenho zootécnico dos peixes.....	93
2.4	Desempenho produtivo das hortaliças	93
2.5	Monitoramento da qualidade da água	93
2.6	Delineamento experimental e análises estatísticas.....	94
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	95
3.1	Desempenho produtivo dos peixes	95
3.2	Desempenho produtivo das hortaliças	97
3.3	Qualidade da água e remoção de nutrientes	98
4	CONCLUSÕES	107
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
	REFERÊNCIAS	110

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

O contínuo crescimento da população mundial e conseqüente aumento na demanda por alimento e água implicam na necessidade de maior produção de alimentos e exige investimento em pesquisas como sistemas de cultivos mais produtivos e ambientalmente responsáveis. Neste contexto, a aquicultura se encaixa como uma atividade produtora de proteína animal de alta qualidade e em grande quantidade por área utilizada, tanto que, atualmente, a produção de organismos aquáticos é uma das atividades que apresenta maior crescimento no mundo.

Segundo o último relatório da Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO (FAO, 2020), estima-se que a produção mundial de pescado em 2018 foi de 179 milhões de toneladas, dos quais 54,2% tiveram origem da pesca de captura e 45,8% da aquicultura. Com a pesca de captura relativamente estática desde o final dos anos 80, a aquicultura tem sido responsável pelo crescimento no fornecimento de peixe para consumo humano, que aumentou de 7% em 1974 para 26% em 1994 e 39% em 2004. É previsto que a produção total de peixe no mundo aumente para 204 milhões de toneladas até 2030 e que a contribuição da aquicultura para a produção pesqueira global ultrapasse a pesca de captura em 2021, atingindo 53% até 2030. Estas circunstâncias indicam que a aquicultura se tornará o principal motor de mudança no setor das pescas e da aquicultura (FAO, 2020).

No Brasil, a piscicultura continental é o ramo de maior destaque da aquicultura, cuja produção é essencialmente representada pelo cultivo concentrado em espécies de tilápias do gênero *Oreochromis*, peixe mais produzido no país e que possui pesquisas bastante avançadas em todo o mundo, usufruindo assim de um pacote tecnológico de cultivo estabelecido. Segundo dados oficiais do levantamento nacional da Associação Brasileira da Piscicultura (PEIXE BR, 2020), o Brasil produziu 758.006 toneladas de peixes de cultivo em 2019, com crescimento de 4,9% sobre as 722.560 toneladas do ano anterior. Assim, a piscicultura é um dos setores da produção animal que mais cresce atualmente, inclusive no Brasil, país de clima favorável para esse tipo de atividade e dimensões continentais com alto potencial para produção de pescado, pois se estima que possui uma grande reserva hídrica, com aproximadamente 12% da água doce disponível no mundo segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (ANA, 2020).

Entretanto, todo este potencial de crescimento da aquicultura revela uma preocupação com relação às questões ambientais que, não só impulsiona, como também eleva a necessidade de desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis, que otimizem o espaço destinado ao cultivo e o uso da água. O principal recurso natural utilizado na atividade, a água, vem sendo cada vez mais disputado, tanto em termos quantitativos como qualitativos, principalmente em razão do acentuado crescimento demográfico e do próprio desenvolvimento econômico (BRASIL, 2004).

Nas últimas décadas, o sistema de aquicultura tradicional vem enfrentando uma série de desafios referente aos graves impactos socioambientais que podem acarretar quando mal planejados, tais como o alto consumo de água e a geração de efluentes com altas concentrações de compostos nitrogenados e fosfatados (HU *et al.*, 2015). Isso porque as águas residuárias de sistemas piscícolas são semelhantes às domésticas no que diz respeito às características do consumo de oxigênio e da presença de sólidos suspensos e nutrientes nitrogenados e fosfatados, principalmente (ZANIBONI-FILHO, 1997).

Quando lançadas de forma inadequada em corpos d'água, a atividade promove o aumento dos sólidos em suspensão e dos nutrientes decorrentes da matéria orgânica introduzida no ambiente, por meio da ração não consumida pelos peixes, fezes e subprodutos metabólicos (KUBITZA, 1998; CYRINO *et al.*, 2010; CORREA *et al.*, 2020). Assim, o crescente impacto ambiental e o crescente risco de contaminação dos corpos d'água utilizados para a produção aquícola são algumas das consequências do aumento da produção no atual sistema de aquicultura tradicional (LISBÔA, 2019; CORREA *et al.*, 2020).

O desejável é que sejam adotadas estratégias para uma produção projetada, construída e operada de forma sustentável, com baixo impacto, ambientalmente correto e também altamente produtivo e lucrativo, bem como projetos responsáveis de manejo da emissão de efluentes (CYRINO *et al.*, 2010). Conforme Lisbôa (2019), sistemas de produção sustentável são aqueles em que é realizado o monitoramento da água, a manutenção dos cultivos e o manejo adequado dos insumos, aumentando assim a qualidade do produto e reduzindo os custos e os impactos negativos associados à criação. Além disso, deve incluir ações que visem reduzir o consumo de água exigido, tratar os resíduos gerados e recuperar os recursos envolvidos, realizando o aproveitamento da água, através do seu reuso, por exemplo (LISBÔA, 2019).

Neste contexto, emerge como um sistema alternativo à aquicultura, a aquaponia – uma integração dos sistemas de aquicultura e hidroponia – onde é feita a conciliação entre o cultivo intensivo de organismos aquáticos e a produção de plantas terrestres sem o uso do

solo, em sistemas fechados de recirculação de água e nutrientes. Este sistema assemelha-se com os processos de simbiose ocorridos na natureza, onde os dejetos nitrogenados, excretados pelos peixes dos rios, possuem uma fração de nutrientes que atende às exigências dos vegetais, e os organismos vegetais utilizam estes compostos para sua própria produção de biomassa, retirando estes compostos da água e tornando a água limpa para o ambiente novamente (RAKOCY *et al.*, 2006; HUNDLEY, 2013; CARNEIRO *et al.*, 2015). De acordo com Rakocy *et al.* (2006) e Somerville *et al.* (2014), o sistema simbiótico da aquaponia é constituído por três importantes fatores: o local de cultivo dos animais aquáticos, o sistema de tratamento de água servida e o ambiente de cultivo dos vegetais.

Neste caso, a utilização dos efluentes dos peixes para a nutrição das hortaliças pode eliminar ou reduzir os gastos com insumos normalmente utilizados no preparo das soluções nutritivas e que podem chegar a 30% do custo de produção de hortaliças em sistemas hidropônicos (EMBRAPA, 2015). Além disso, os produtos oriundos de sistemas aquapônicos apresentam certas vantagens para os consumidores ao zelar também pela sua saúde, uma vez que a solução de nutrientes é preparada a partir de matéria orgânica e não a partir de sais minerais industrializados e o uso de agrotóxicos no controle de pragas nos vegetais é restrito devido ao comprometimento da saúde dos peixes (HUNDLEY; NAVARRO, 2013).

Assim, com a utilização eficiente da água residual da piscicultura para nutrir plantas, a atividade se torna uma alternativa real na produção de alimentos ao possibilitar altas produtividades de peixes e plantas até mesmo em pequenas áreas, com o uso racional da água e o aproveitamento praticamente integral da ração, gerando ainda um subproduto de alto valor com características mais saudáveis e sustentáveis, grande potencial de diversificação de produção e menor impacto ao meio ambiente (MATEUS, 2009; DIVER; RINEHART, 2010; BLIDARIU; GROZEA, 2011; HUNDLEY, 2013; LOVE *et al.*, 2014). O uso dessa técnica, portanto, objetiva não apenas a redução do impacto ambiental, mas também a superação de determinados fatores que prejudicam o sistema produtivo, como por exemplo, a escassez de água, utilização de terras que não permitem o cultivo convencional de plantas e o aproveitamento de nutrientes que seriam eliminados para o ambiente.

Adicionalmente ao cultivo de hortaliças, plantas como as lemnáceas, menores macrófitas que se conhece, podem ser introduzidas nos módulos de aquaponia para acelerar a remoção de nutrientes da água, possibilitando assim, maior produção de alimentos em um menor espaço. Conhecida como lentilha d'água, a *Landoltia punctata* é uma macrófita aquática da subfamília *Lemnoideae* que, juntamente com outras espécies da mesma subfamília, são bastante rústicas e apresentam bom desenvolvimento em ambientes

eutrofizados (COSTA, 2014). Devido às características como a capacidade de absorção de nitrogênio e fósforo, a tolerância a ambiente com altas taxas de nutrientes e a rápida proliferação, esta e outras espécies do gênero, tem sido utilizada eficientemente no tratamento de efluentes e se mostrado um ingrediente altamente proteico, com potencial de utilização seja na alimentação animal ou na adubação orgânica (MOHEDANO *et al.* 2005; TAVARES *et al.*, 2008; FRANÇA *et al.*, 2009; TAVARES *et al.*, 2010).

Neste contexto, portanto, em que a aquaponia têm se tornado uma técnica promissora e lucrativa ao conciliar benefícios dos dois cultivos e visando a sustentabilidade da atividade em questão, faz-se cada vez mais necessário, estudos acerca desse sistema de produção de alimentos, por fornecer aos consumidores produtos com maior nível de segurança alimentar e por representar uma melhor preservação dos recursos hídricos devido ao baixo consumo de água, aproveitamento de nutrientes e menor risco ambiental por contaminação de rios e solos. Apesar de alguns estudos já serem realizados ao redor do mundo, com bons resultados de desempenho (RAKOCY *et al.*, 2006), existe a necessidade de se avaliar esses sistemas em nossos ambientes de cultivo e com o material genético usualmente empregado em nossa cadeia produtiva, a fim de se validar o sistema aquapônico para a realidade piscícola nacional.

Assim, o objetivo deste estudo é avaliar o desempenho de um sistema aquapônico compacto e integrado de cultivo de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*) com o cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.) e o uso de macrófitas (*Landoltia punctata*) no tratamento terciário de efluentes, com base na avaliação de indicadores de desempenho zootécnico, fitotécnico, parâmetros de qualidade da água e de características do efluente, a fim de se promover o aprimoramento do manejo, produtividade e sustentabilidade do sistema.

A pesquisa tem ainda os seguintes objetivos específicos, os quais foram divididos nos capítulos a seguir:

- Avaliar o efeito de diferentes densidades de cultivo de tilápias nilóticas *Oreochromis niloticus* na qualidade da água e no desempenho produtivo dos peixes e da alface *Lactuca sativa* L., cultivados em sistema de aquaponia (Capítulo 2);
- Avaliar o potencial de remoção de nutrientes do efluente gerado pelo cultivo intensivo de *Oreochromis niloticus* por *Lactuca sativa* L. cultivada em sistema hidropônico e pelo uso de macrófitas aquáticas (*Landoltia punctata*) no tratamento terciário (Capítulo 3).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AQUAPONIA

O termo “aquaponia” deriva da combinação entre “aquicultura” - produção de organismos aquáticos - e “hidroponia” - produção de plantas sem solo (EMBRAPA, 2015). Refere-se à integração da aquicultura de recirculação com a hidroponia em um único sistema de produção (SOMERVILLE *et al.*, 2014), envolvendo assim, a criação de organismos aquáticos, tais como peixes (RAKOCY *et al.*, 2006), crustáceos (CASTELLANI *et al.*, 2009) e outros animais aquáticos em integração com a produção de organismos vegetais, tais como alface, rúcula, pimenta, entre outros (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

Trata-se de uma técnica utilizada com sucesso em muitos países, cujos estudos mais avançados surgiram durante a década de 1990, nos Estados Unidos e nas Ilhas Virgens (JOHNSON; WARDLOW, 1997; SEAWRIGHT *et al.*, 1998; RAKOCY *et al.*, 2006). A partir do início dos anos 2000, Austrália, Canadá e Israel iniciaram pesquisas na área, e no Brasil, apesar da aquicultura e da hidroponia serem práticas de produção de alimentos com estudos realizados há mais de cinquenta anos, as pesquisas sobre aquaponia tornaram-se mais consistentes a partir de 2010 (CARNEIRO *et al.*, 2015). A exemplo da sua rápida disseminação em outros países, a técnica tem atraído cada vez mais a atenção de pesquisadores e produtores e há grande expectativa de que esse sistema de produção se torne popular no Brasil, num futuro próximo (EMBRAPA, 2015).

O principal ponto de destaque relacionado à aquaponia versa sobre a possibilidade de integração entre a produção de proteína animal de boa qualidade oriunda da aquicultura, combinada com a produção de hortaliças em hidroponia, em um ambiente simbiótico que otimiza espaços e recursos naturais, com baixo consumo de água e menor produção de resíduos. O cultivo hidropônico, quando comparado ao sistema tradicional, tem consumo de água reduzido em até 90%. Já o aproveitamento do efluente da aquicultura para o cultivo dos vegetais, minimiza os impactos gerados ao meio ambiente, sobretudo aos corpos d’água, pelo despejo dos efluentes da aquicultura (MARISCAL-LAGARDA *et al.*, 2012; HUNDLEY, 2013; EMBRAPA, 2015).

Como a aquaponia preconiza a reutilização total da água, tendo por base o sistema de cultivo conhecido por Sistema de Recirculação Aquícola (do inglês, *Recirculating Aquaculture System* – RAS), evita o desperdício desse recurso natural e diminui

drasticamente, ou até elimina, a liberação do efluente no meio ambiente. Uma vez abastecido e em funcionamento, somente é necessária a reposição da água perdida pela evaporação, evapotranspiração, acúmulo na biomassa, colheitas e limpezas periódicas (expurgos dos resíduos acumulados no decantadores), podendo ficar por tempo indefinido sem a necessidade de se renovar a água, uma vez que o sistema permite, por meio da recirculação, o reaproveitamento do efluente gerado pela aquicultura e a manutenção do sistema hidropônico (GRABER; JUNGE, 2009). Rakocy *et al.*, 2006 estimam que a troca de água diária nos sistemas aquapônicos é de, aproximadamente, 2%.

Nesse sentido, a aquaponia é, inclusive, mais eficiente na utilização da água e na redução da geração de efluente que a própria hidroponia, que necessita constante renovação da solução hidropônica de nutrientes (HUNDLEY, 2013). Além da racionalidade do consumo de água, geralmente, a qualidade do produto vegetal obtido é maior em comparação com aquelas originadas de cultivo tradicional, além de melhorar a rentabilidade dos sistemas de aquicultura (QUILLERÉ *et al.*, 1995; DEDIU *et al.* 2012; RAKOCY *et al.*, 2006).

Constitui, assim, numa forma mais sustentável de produção de alimentos e numa ciência que, ao integrar a produção de peixes e plantas, é capaz de garantir benefícios para ambos, uma vez que as plantas removem os metabólitos presentes na água residual e que são prejudiciais aos peixes, utilizando-os como um fertilizante natural e melhorando, conseqüentemente, a qualidade da água para os peixes, o que permite o seu desenvolvimento (MAROTTI *et al.*, 1996; MONTOYA *et al.*, 2000; HUNDLEY; NAVARRO, 2013). Os nutrientes provenientes do metabolismo dos peixes, que seriam descartados nos corpos d'água, se acumulam em concentrações semelhantes às soluções nutritivas do sistema hidropônico, resultando em uma sinergia perfeita entre a piscicultura, processos biológicos e plantas (ROOSTA; AFSHARIPOOR, 2012; RAKOCY *et al.*, 2006).

2.2 PRINCÍPIOS BIOLÓGICOS DO SISTEMA AQUAPÔNICO

Segundo Canastra (2017), podemos considerar a aquaponia como um ecossistema, que necessita de conhecimentos específicos para o seu pleno funcionamento e, principalmente, a compreensão dos elementos biológicos envolvidos nessa forma de cultivo. O layout de um sistema de cultivo aquapônico pode variar muito, porém três processos básicos são necessários e essenciais para o seu funcionamento: a entrada de nutrientes, na forma de ração, para o cultivo de peixes em fluxo contínuo no viveiro, a nitrificação das diferentes formas de

apresentação do nitrogênio em filtros biológicos e a absorção de nutrientes nas bancadas de hidroponia, pela parcela vegetal do sistema (HUNDLEY, 2013).

O sistema é composto basicamente por um tanque no qual são produzidos os peixes que, alimentados por ração, produzem excretas ricas em nutrientes. Ao passar pelo filtro biológico, esses nutrientes são transformados em compostos capazes de serem assimilados pelas plantas que, bombeados para a bancada hidropônica, nutrem então os vegetais. As raízes das plantas, ao absorverem os nutrientes que necessitam para se desenvolver, filtram a água que irá retornar ao local onde são produzidos os peixes, reiniciando assim o ciclo dentro do sistema (EMBRAPA, 2015).

O fornecimento de ração aos peixes é, portanto, a entrada de insumo mais importante que alimenta o fluxo contínuo de nutrientes no sistema entre os diferentes organismos vivos que estão relacionados por meio de processos biológicos naturais, notadamente a nitrificação promovida por bactérias. O nitrogênio orgânico, existente nos resíduos da ração e não ingeridos pelo sistema de aquicultura, é decomposto em amônia, por meio de microrganismos heterotróficos presentes na água. A principal fonte de amônia no sistema, entretanto, é produto da excreção dos organismos aquáticos, resultante do catabolismo das proteínas e que aumentam proporcionalmente ao aumento da quantidade de alimento fornecido e da biomassa, podendo ocasionar toxicidade às plantas e aos peixes (CARNEIRO *et al.*, 2015; CANASTRA, 2017).

O papel de transformação dessas substâncias tóxicas em nutrientes assimiláveis pelas plantas e benéficos para a hidroponia é de responsabilidade das bactérias nitrificantes, principalmente dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, que realizam a conversão da amônia (NH_3) em nitrito (NO_2^-) e este em nitrato (NO_3^-). Ao consumir esses nutrientes, as plantas, juntamente com as bactérias, desempenham uma importante função na filtragem biológica da água, garantindo a condição adequada para o desenvolvimento normal dos peixes.

Como o nitrogênio constitui um nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas e, na forma de nitrato, possui uma maior taxa de absorção, essas colônias de bactérias na aquaponia são de fundamental importância para o bom funcionamento do sistema (DEDIU *et al.*, 2012). O surgimento dessas bactérias se dá de forma natural no compartimento chamado de filtro biológico, porém pode ser estimulado pela introdução de água proveniente de outro local onde sua presença é conhecida (CARNEIRO *et al.*, 2015).

Observa-se que, embora a técnica apresente várias vantagens comparativas com relação aos métodos tradicionais de cultivo, o sucesso de um sistema de aquaponia depende de vários fatores que ainda necessitam de estudo a fim de se aprimorar o entendimento dos

processos físicos, químicos e microbiológicos envolvidos para a consolidação deste sistema sob condições brasileiras (GEISENHOF *et al.*, 2016; QUEIROZ *et al.*, 2017).

2.3 QUALIDADE DA ÁGUA NA AQUAPONIA

Tão importante quanto compreender os princípios biológicos do sistema aquapônico, é proporcionar um ambiente favorável e que atenda as necessidades de cada um dos três principais organismos envolvidos nesse mesmo sistema: os peixes, as plantas e as bactérias nitrificantes. O pH, por exemplo, é um dos pontos mais críticos e que requer muita atenção, uma vez que os organismos citados são muito distintos entre si e é fundamental para o sistema que o pH seja mantido numa faixa que atenda a todos de maneira satisfatória. Isso porque o pH exerce determinante influência sobre o ciclo mais importante dentro do sistema de aquaponia, que é a nitrificação do nitrogênio, influencia drasticamente na toxicidade da amônia para o peixe ao elevar a fração de amônia não ionizada – NH_3 , extremamente tóxica aos peixes, em relação ao íon amônio NH_4^+ , além de interferir diretamente na disponibilidade de nutrientes para as plantas (HUNDLEY, 2013; EMBRAPA, 2015).

As bactérias nitrificantes são predominantemente aeróbicas e sua faixa de pH ótimo encontra-se entre 7,0 e 8,0. Desta forma, um pH abaixo de 6,0 pode impactar a atividade das bactérias nitrificantes e prejudicar o ciclo de conversão da amônia em nitrato, deixando assim o sistema instável. As plantas cultivadas em hidroponia, por sua vez, apresentam melhor desenvolvimento e assimilação de nutrientes no intervalo de pH entre 5,5 e 6,5, apresentando dificuldades em absorver nutrientes fora desta faixa (TYSON *et al.*, 2004; SOMERVILLE *et al.*, 2014; CARNEIRO *et al.* 2015).

Com relação aos peixes, estes toleram faixas específicas de pH, mas na maioria das espécies de água doce e interesse econômico que podem ser utilizadas num sistema aquapônico, o pH ideal encontra-se entre 6,0 e 8,5. Valores baixos de pH são indesejáveis, pois reduzem o crescimento dos peixes. Assim, torna-se mais restrito o intervalo de pH adequado para atender satisfatoriamente a todos os componentes biológicos presentes num sistema aquapônico, de forma que o recomendado é que seja mantido entre 6,5 e 7,0 (TYSON *et al.*, 2004; RAKOCY *et al.*, 2006; SOMERVILLE *et al.*, 2014; CARNEIRO *et al.* 2015).

Outro parâmetro significativo para a aquaponia, em geral, é a temperatura da água. Os peixes, por exemplo, dependem diretamente da temperatura da água para manter a sua temperatura corporal e seu metabolismo funcionando corretamente. Temperaturas superiores a 32°C podem ocasionar mortalidade e quando a temperatura da água diminui abaixo do

intervalo de conforto da espécie (24 a 30°C), reduzem o consumo, pois o apetite decresce rapidamente, diminuem também o ritmo biológico, aumentam as chances de proliferação de doenças e, conseqüentemente, há uma piora no seu desempenho produtivo (EL-SAYED, 2006; GARCIA *et al.*, 2008).

Para as plantas, em especial as hortaliças, o intervalo entre 20° e 25°C de temperatura na água é considerado aceitável para um bom cultivo por hidroponia. Temperaturas muito acima ou abaixo das faixas limites causam diminuição na absorção dos nutrientes e, conseqüentemente, um crescimento irregular e lento além de uma menor produção, com produtos de baixa qualidade. No caso das bactérias nitrificantes, a faixa ideal para o crescimento está compreendida entre 17-34°C. A queda da temperatura para valores inferiores à faixa ideal diminui a produtividade das bactérias na conversão da amônia em nitratos devido à redução das taxas metabólicas (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

Com relação à oxigenação do sistema aquapônico, o sistema de aeração também deve garantir níveis adequados para os peixes, plantas e bactérias nitrificantes. Em condições de cultivo de clima tropical, recomenda-se que a quantidade de oxigênio dissolvido na água seja superior a 4 mg/L (KUBITZA, 1998) e pode ser mantida pelo emprego de compressores ou sopradores de ar, de forma que a aeração deve estar presente não só no tanque de aquicultura como também devem ser instalados difusores em outros compartimentos, como nos biofiltros aeróbios e nos compartimentos de cultivo das plantas, em alguns modelos de cultivo com raízes submersas (RAKOCY *et al.*, 2006; CARNEIRO *et al.* 2015).

Em suma, a qualidade da água em um sistema aquapônico é resultado de influências externas (qualidade da fonte de água, clima, introdução de alimentos, etc.) e internas (densidade de peixes e plantas, interações físico-químicas e biológicas), possuindo características complexas e dinâmicas, o que torna o monitoramento dos parâmetros de qualidade da água indispensável para um bom desenvolvimento dos organismos envolvidos no sistema e uma produção viável (SILVA *et al.*, 2013; LEIRA *et al.* 2017).

2.4 CULTIVO DE *Oreochromis niloticus* EM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO

A aquaponia tem como base o sistema de recirculação conhecido por RAS - *Recirculation Aquaculture System*. Muitas espécies já são cultivadas em sistemas com recirculação da água tratada como trutas, tilápias, bagres, salmão, enguias, linguados, camarão, entre outras (LAPA; ARANA, 2016). Como estes sistemas visam à criação

intensiva de peixes com a reutilização da água, a escolha da espécie a ser cultivada no sistema de aquaponia deve considerar a sua tolerância ao manejo frequente e a altas densidades de estocagem.

Neste sentido, a tilápia *Oreochromis niloticus*, vulgarmente conhecida como tilápiado-Nilo, se encaixa perfeitamente às condições de cultivo e pode ser considerado um dos peixes mais adequados para serem criados em aquaponia (CARNEIRO *et al.* 2015). Nativas da África Oriental, as tilápias são uma das espécies de água doce mais popular para cultivo em sistemas de aquicultura em todo o mundo (SOMERVILLE *et al.*, 2014). Trazidas para o Brasil após 1950, hoje é o peixe mais cultivado no país, onde se adaptou facilmente (AGOSTINHO *et al.* 2007; PEIXE BR, 2020).

Trata-se de uma espécie bastante rústica e resistente, com boa conversão alimentar, tolerância a altas densidades de estocagem, pacote tecnológico de cultivo, de melhoramento, de reprodução e de nutrição avançados e difundidos por todo o mundo, além de ter bom preço de mercado, no geral (MARENGONI, 2006). Por estas características, portanto, que a tornam uma das espécies preferidas para a aquicultura, *Oreochromis niloticus* tem sido o peixe mais utilizado também em sistemas de aquaponia, com resultados muito animadores (HUNDLEY, 2013).

Embora as tilápias possam tolerar uma ampla gama de condições da qualidade da água, a espécie se desenvolve melhor em temperaturas quentes. Em condições ideais, podem crescer de juvenis com 50 g até adultos de 800 g, em cerca de seis meses. Toleram brevemente a água em temperaturas extremas, entre 14 a 36°C, mas não se alimentam ou crescem abaixo de 17°C e abaixo de 12°C, esta espécie não sobrevive. O intervalo de conforto térmico, portanto, que garante boas taxas de crescimento é 24 – 30°C, não sendo adequado o seu cultivo em regiões de climas temperados ou no inverno (KUBITZA, 1999; SOMERVILLE *et al.*, 2014).

As tilápias são peixes onívoros, o que significa que comem alimentos à base de plantas e animais. Logo, possuem uma boa aceitação tanto a rações, quanto a plantas aquáticas em sua dieta. Quanto à densidade de cultivo, a espécie pode ser agressiva, especialmente em baixas densidades, uma vez que os machos são extremamente territorialistas. O ideal, portanto, é que sejam cultivados em altas densidades nos tanques de crescimento, desde que respeitados os níveis ideais de qualidade de água (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

2.5 CULTIVO DE *Lactuca sativa* L. EM SISTEMAS HIDROPÔNICOS “DFT”

Referente aos sistemas de cultivos de vegetais na aquaponia, destaca-se o uso de bandejas flutuantes (*floating rafts*), onde os tanques de criação dos peixes são interligados a tanques retangulares “*raceways*”, providos de placas de isopor (poliestireno expandido – EPS) ou de poliestireno extrudado (XPS) contendo orifícios espaçados entre si, conforme a espécie vegetal e sua forma de crescimento, para suporte das hortaliças. Essa bandeja flutuante é uma característica marcante deste tipo de sistema e possui algumas funções importantes, tais como dar suporte às plantas, reduzir a evaporação da água e protegê-la dos raios solares, evitando assim o crescimento indesejável de microalgas (RAKOCY *et al.*, 2006).

Nesta técnica, também chamada de *Deep Film Technique* – DFT, as raízes permanecem submersas o tempo todo, necessitando, portanto, de aeração para manter a oxigenação da água que é indispensável tanto às raízes das plantas quanto às bactérias nitrificantes que irão colonizar as paredes e fundos destas placas (RAKOCY *et al.*, 2006; CANASTRA, 2017). Apesar de não ser o sistema mais tradicionalmente usado no Brasil, o DFT talvez seja o mais viável principalmente para regiões de clima mais quente, com grande oscilação térmica, como por exemplo, no estado de São Paulo. Isso porque as placas e o maior volume de água nas bandejas garantem uma menor variação de temperatura e demais parâmetros de qualidade de água, além de ótimos níveis de oxigênio dissolvido devido ao fluxo da água e sistemas de aeração constante, o que afeta positivamente o processo oxidativo do nitrito (WONKIEW *et al.*, 2017).

Por se tratar de um sistema muito semelhante à hidroponia, espécies vegetais já adaptadas a essa forma de cultivo, são as mais adequadas para serem cultivadas em aquaponia. Atualmente, observando-se as necessidades do mercado e das plantas bem como suas limitações no que diz respeito a espaço, nutrição, aeração, temperatura e radiação solar, é possível produzir, teoricamente, qualquer vegetal de pequeno e médio porte (EMBRAPA, 2015).

No Brasil, a alface é a hortaliça mais produzida, tanto em solo como em sistemas hidropônicos, onde representa 90% dos cultivos hidropônicos no país, principalmente pelo fácil manejo que a cultura permite, aliado ao seu ciclo curto e rápido (GUALBERTO *et al.*, 1999; SANTOS *et al.* 2010; SOARES, *et al.* 2010). Considerada a hortaliça folhosa mais importante na alimentação do brasileiro, foi uma das primeiras hortaliças cultivadas pelo homem (CARVALHO *et al.*, 2005).

A alface *Lactuca sativa* pertence à família *Asteraceae* e é uma planta anual e de porte herbáceo, com sistema radicular pivotante de ramificações finas e curtas, podendo atingir até 60 cm de profundidade (GOTO, 1998 *apud* RIGO, 2017). Originária do Mediterrâneo, região de clima temperado, é uma planta muito sensível às condições climáticas, de forma que fatores como fotoperíodo, intensidade de luz e, particularmente, a temperatura influenciam acentuadamente no crescimento e no desenvolvimento da planta (MULLER, 1991). A temperatura máxima tolerável pela cultura da alface está em torno de 30°C e a mínima por volta dos 6°C sendo que quando são submetidas a temperaturas muito elevadas, seu desenvolvimento é afetado, impedindo-a de expressar todo o seu potencial e comprometendo a produção (SILVA *et al.*, 2000).

2.6 RELAÇÃO ENTRE A BIOMASSA ACUMULADA DE PEIXES E A ÁREA DE CULTIVO VEGETAL

No sistema aquapônico, há uma relação direta entre a quantidade de vegetais que serão produzidos e a biomassa de peixes estocada no sistema, uma vez que a quantidade de nutrientes que entra no sistema e estará disponível para as plantas é determinada pela quantidade de ração que é ofertada aos peixes. Desta forma, é essencial o conhecimento do potencial do efluente gerado pelos peixes, em relação à concentração de nutrientes exigidos pelas plantas. O ajuste entre densidade de cultivo de peixes e quantidade de plantas deve considerar ainda que a produção hidropônica possui o seu ciclo variável conforme a espécie, de 25 a 90 dias e o ciclo de cultivo dos peixes tem duração aproximada de 210 a 270 dias (SIQUEIRA *et al.*, 2018).

Diversas formas de se calcular ou estimar essa relação são apresentadas na literatura. Segundo Somerville *et al.* (2014), por exemplo, um sistema com um reservatório de 1000 litros, é capaz de comportar uma área de cultivo de 4 m² de vegetais, ou seja, uma proporção de 1 m² para cada 250 litros de água de reservatório. O cálculo mais utilizado, entretanto, é o sugerido por Rakocy *et al.* (2006), que relaciona a quantidade de alimento fornecido diariamente aos peixes com o tamanho da área que pode ser cultivada com vegetais. Segundo o autor, para cada m² de área de produção de vegetais menos exigentes, como alface e outras folhosas, seria necessária uma biomassa de peixes que demandasse de 60 g a 100 g de ração fornecida diariamente.

Outros trabalhos mais recentes, porém, já verificaram que esses valores podem ser reduzidos significativamente, utilizando ração na proporção de aproximadamente 25 g/dia/m² a 40 g/dia/m² (EMBRAPA, 2015). De acordo com esta proporção, portanto, 4 kg de peixes consumindo 1,5% de seu peso vivo ao dia (em torno de 60 g de ração por dia) já seria o necessário para possibilitar o cultivo de vegetais em área de aproximadamente 2 m² de cultura com alface.

2.7 USO DE *Landoltia punctata* PARA TRATAMENTO DA ÁGUA NA AQUAPONIA

Sistemas intensivos de criação de peixes apresentam acúmulo de nutrientes na água que necessitam ser eliminados, para então possibilitar seu reaproveitamento (CORTEZ *et al.*, 2009). Segundo Kadlec e Wallace (2009), há vários processos biológicos e abióticos que regulam a remoção de matéria orgânica e nutrientes do efluente, sendo os principais biológicos: a absorção direta por algas e macrófitas aquáticas, a mineralização microbiológica e as transformações como, por exemplo, a amonificação e nitrificação. De acordo com Valentim (2003), os “sistemas naturais” de tratamento são projetados para maximizar os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem quando a água, as plantas, os microrganismos e a atmosfera interagem, promovendo, com isso, o tratamento da água residuária.

Este processo de eliminação dos resíduos na aquaponia, em parte, pode ser realizado pelos vegetais cultivados em hidroponia, uma vez que os nutrientes acumulados na água são por eles absorvidos (RAKOCY *et al.*, 2006). Entretanto, devido à rápida circulação da água nos sistemas integrados, a remoção desses nutrientes pode ser acelerada com a introdução de macrófitas aquáticas no sistema de tratamento terciário dos módulos de aquaponia, possibilitando assim, maior produção de alimentos em um menor espaço.

Por apresentarem características como a capacidade de absorção de nitrogênio e fósforo, a tolerância a ambientes com altas taxas de nutrientes e a rápida proliferação, plantas da subfamília *Lemnoideae* tem sido estudadas na remoção de nutrientes tanto de esgoto sanitário como efluentes líquidos industriais e de diversas culturas (BERGMANN *et al.*, 2000; DECAMP; WARREN, 2000; COLEMAN *et al.*, 2001; MOHEDANO, 2004; TAVARES *et al.*, 2008; BACH, 2013; VIEIRA, 2013; RIBEIRO, 2016) e apresentado excelentes resultados na redução dos níveis de poluentes contidos em águas residuais como nitrogênio amoniacal, íon fosfato, demanda química e bioquímica de oxigênio, sólidos

suspensos, coliformes e metais pesados (BERGMANN, *et al.*, 2000; RAN *et al.*, 2004). Segundo Costa (2014), podem ser cultivadas em praticamente qualquer local e clima, embora prefiram climas quentes e úmidos. Além disso, possuem como principal vantagem acumular biomassa a velocidades mais rápidas do que outras plantas superiores, incluindo culturas agrícolas (HASSAN; EDWARDS, 1992).

Mohedano (2010) ressalta que, devido ao tamanho diminuto de suas flores e à simplicidade estrutural, a taxonomia deste grupo é difícil e divergente entre os autores. Atualmente, a subfamília conta com cinco gêneros descritos: *Lemna*, *Wolffia*, *Landoltia*, *Spirodela* e *Wolffiella* e cerca de 40 espécies (JOURNEY *et al.*, 1993). Dentre estes gêneros, *Lemna* e *Spirodela* são os mais conhecidos e utilizados de várias formas, como em tratamento de efluentes e na alimentação de animais domésticos (TAVARES *et al.*, 2008; FRANÇA *et al.*, 2009; TAVARES *et al.*, 2010).

Com o aprimoramento das técnicas de biologia molecular, por meio das análises de DNA, Les e Crawford (1999) descreveram um novo gênero para a subfamília *Lemnoideae*: o gênero *Landoltia* (derivado de *Spirodela*), do qual a espécie utilizada neste trabalho foi *Landoltia punctata*. Segundo Mohedano (2010), o gênero *Landoltia* assemelha-se muito a *Lemna* pelo tamanho pequeno da fronde, mas se diferencia desta pelo número de raízes e pela cor avermelhada na face inferior da fronde. De ocorrência original no hemisfério Sul e Leste asiático, a espécie se encontra distribuída do Sudeste do Brasil até o leste do Paraná (POTT, 2002).

O uso de lemnáceas, como uma tecnologia no tratamento de efluentes, está baseado em uma série de características e aptidões naturais da própria espécie que a permitem se desenvolver em ambientes eutrofizados, tais como alguns exemplos a seguir, compilados por Mohedano (2010): (i) alta taxa de crescimento (a maior entre as Angiospermas); (ii) elevada exigência de nitrogênio; (iii) proporcionam condições favoráveis para a sedimentação ao diminuir a ação do vento; (iv) inibem a produção de algas, pelo sombreamento; (v) fornecem superfície para fixação de biofilme; (vi) redução de gases que provocam maus odores; (vii) fácil manejo, quando comparado à remoção de biomassa algal.

Entretanto, apesar de utilizada em grande escala em lagoas de tratamento, o uso de lemnáceas para tratamento da água no sistema aquapônico carece de estudos e pesquisas para o seu aperfeiçoamento, uma vez que, como organismos biológicos, estas plantas apresentam reações complexas perante diversas variáveis, tais como as climáticas (temperatura, altitude, sazonalidade etc), do efluente (pH, disponibilidade de nutrientes), biológicas (espécie utilizada, competição com outras plantas, interação com microrganismos) e de engenharia

(fluxo d'água, profundidade dos tanques, configurações do sistema, pré-tratamentos)
(MOHEDANO, 2010; COSTA, 2014).

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO A.A.; GOMES L.C.; PELICICE F.M. **Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil**. Maringá: EDUEM; 2007. 501 p. Disponível em: <http://ftp.nupelia.uem.br/users/agostinhoaa/publications/178-Ecologia_e_Manejo_de_Recursos_Pesqueiros_em_Reservatorios.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Panorama das águas**. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>>. Acesso em: 15 mar. 2020.
- BACH, Albert Otto. **Avaliação de Lagoas de Lemnas no Polimento de Efluentes e na Fixação de CO₂**. 2013. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- BERGMANN, B. A.; CHENG, J.; CLASSEN, J.; STOMP, A. In vitro selection of duckweed geographical isolates for potential use in swine lagoon effluent renovation. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 73, p. 13-20, 2000. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852499001376>>. Acesso em: 15 mar. 2020.
- BLIDARIU F.; GROZEA, A. Increasing the Economical Efficiency and Sustainability of Indoor Fish Farming by Means of Aquaponics – Review. **Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies**, Novi Sad, v. 44, n. 2, p. 1 - 8, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228442364_Increasing_the_Economical_Efficiency_and_Sustainability_of_Indoor_Fish_Farming_by_Means_of_Aquaponics-Review>. Acesso em: 15 mar. 2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria dos Recursos Hídricos - MMA/SRH. **Documento Básico de Referência do Plano Nacional de Recursos Hídricos**, 2004. Disponível em: <<http://pnrh.cnrh-srh.gov.br/>>. Acesso em: 19 out. 2020.
- CANASTRA, Inês Isabel de Oliveira. **Aquaponia: Construção de um sistema de aquaponia a uma escala modelo e elaboração de um manual didático**. Porto, Portugal. 2017. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/110688/2/250465.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2020.
- CARNEIRO, P. C. F.; MARIA, A. N.; NUNES, M. U. C.; FUJIMOTO, R. Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais. *In*: TAVARES-DIAS, M.; MARIANO, W. dos S. (Org.). **Aquicultura no Brasil: novas perspectivas**. São Carlos: Pedro & João Editores, v. 2, 2015. p. 683–706.
- CARVALHO, J. E.; ZANELLA, F.; MOTA, J. H.; LIMA, A. L. S. Cobertura morta do solo no cultivo de alface cv. Regina 2000, em Ji-Paraná, RO. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, p.935-939, 2005. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542005000500003>>. Acesso em: 15 mar. 2020.
- CASTELLANI, D.; CAMARGO, A. F.; ABIMORAD, E. G. Aquaponia: aproveitamento do efluente do berçário secundário do Camarão-da-Amazônia para produção de alface e agrião

hidropônicos. **Bioikos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 67-75, 2009. Disponível em: <<http://periodicos.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/bioikos/article/view/660/640>>. Acesso em: 15 mar. 2020.

COLEMAN, Jerry *et al.* Treatment of Domestic Wastewater by Three Plant Species in Constructed Wetlands. **Water, Air, & Soil Pollution** [s. l.], v. 128, n.3/4, p. 283-295, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/A:1010336703606>>. Acesso em: 15 mar. 2020.

CORREA, E. S.; MONTE, C. N.; NASCIMENTO, T. S. R. Avaliação de impacto ambiental causado por efluentes da estação de piscicultura Santa Rosa, Santarém/Pará. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Aracaju, v.11, n.1, p. 260-273, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.001.0024>>. Acesso em: 15 mar. 2020.

CORTEZ, G.E.P.; ARAUJO, J.A.C. de; BELLINGIERI, P.A.; DALRI, A.B. Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alface em hidroponia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 494-498, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000400019>>. Acesso em: 10 dez 2020.

COSTA, Flávia Nunes. **Valorização de *Landoltia punctata* proveniente de tratamento de esgoto doméstico através de hidrólise enzimática visando a produção de etanol**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/129221/330192.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 16 dez. 2020.

CYRINO, J. E. P.; BICUDO, A. J. A.; SADO, R. Y.; BORGHESI, R; DAIRIKI, J. K. A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos na piscicultura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, p. 68-87, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300009>>. Acesso em: 20 out. 2020.

DECAMP, O.; WARREN, A. Investigation of *Escherichia coli* removal in various designs of subsurface flow wetlands used for wastewater treatment. **Ecological Engineering**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 293-299, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(99\)00007-5](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(99)00007-5)>. Acesso em: 20 out. 2020.

DEDIU, L.; CRISTEA, V.; XIAOSHUAN, Z. Waste production and valorization in an integrated aquaponic system with bester and lettuce. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v.11, n.9, p.2349-2358, jan. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.5897/AJB11.2829>>. Acesso em: 20 out. 2020.

DIVER, S.; RINEHART, L. Aquaponics - Integration of Hydroponics with Aquaculture. **ATTRA NCAT**, Butte, p. 1-28, 2010. Disponível em: <<http://www.attra.ncat.org/attra-pub/PDF/aquaponic.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2020.

EL-SAYED, A-FM. **Tilapia Culture**. Oxfordshire: CABI Publishing, 2006. 293 p. Disponível em: <<https://www.gafrd.org/files/0084/84094/Tilapia%20culture.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Produção Integrada de Peixes e Vegetais em Aquaponia**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Documentos 189). Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142630/1/Doc-189.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture: Sustainability in action**. Roma: [s. n.], 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.4060/ca9229en>>. Acesso em: 16 out. 2020.

FRANÇA, G. M. O.; FILHO, J. F. M.; PEREIRA, C. M.; FARIA, G. A.; MELO, F. V. S. T.; SANTOS, J. G. Valor nutricional de *Lemna valdiviana* Phil (Araceae) submetida a diferentes concentrações de fertilização com excremento de aves. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 22, n. 3, p. 19- 26, 2009. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/biotemas/article/download/2175-7925.2009v22n3p19/17912>>. Acesso em: 16 out. 2020.

GARCIA, L. DE O.; COPATTI, C. E.; WACHHOLZ, F.; PEREIRA FILHO, W.; BALDISSEROTTO, B. Freshwater temperature in the state of Rio Grande do Sul, Southern Brazil, and its implication for fish culture. **Neotropical Ichthyology**, Maringá, v. 6, n. 2, p. 275-281. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1679-62252008000200016>>. Acesso em: 16 out. 2020.

GEISENHOFF, L.O.; JORDAN, R.A.; SANTOS, R.C.; OLIVEIRA, F.C. DE; GOMES, E.P. Efeito de diferentes substratos na produção de alface aquapônica associada à criação intensiva de tilápia com recirculação de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n. 2, p.291-299. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p291-299/2016>>. Acesso em: 16 out. 2020.

GOTO, R. A cultura de alface. *In: Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais*. São Paulo: Editora Unesp, v.1, p.137- 159, 1998.

GRABER, A.; JUNGE, R. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. **Desalination**, Amsterdam, v.246, n.1-3, p.147-156, set. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.048>>. Acesso em: 16 out. 2020.

GUALBERTO, R.; RESENDE, F.V.; BRAZ, L.T. Competição de cultivares de alface sob cultivo hidropônico "NFT" em três diferentes espaçamentos. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 17, p. 155-158, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-05361999000200016>>. Acesso em: 16 out. 2020.

HASSAN, M. S.; EDWARDS, P. Evaluation of duckweed (*Lemna perpusilla* and *Spirodela polyrrhiza*) as feed for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, [s.l.], v. 104, n.3/4 p.315-326, 1992. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90213-5](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(92)90213-5)>. Acesso em: 20 nov. 2020.

HU, Z.; LEE, J.W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; BROTTTO, A.C.; KHANAL, S. K. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. **Bioresource Technology**, [s. l.], p. 1-7, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.013>>. Acesso em: 16 out. 2020.

HUNDLEY, G. C. **Aquaponia, uma experiência com tilápia (*Oreochromis niloticus*), manjeriço (*Ocimum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de recirculação de água e nutrientes**. 2013. 57 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/5977/1/2013_GuilhermeCrispimHundley.pdf>. Acesso em: 16 out. 2020.

HUNDLEY, G. C.; NAVARRO, R. D. Aquaponia: a integração entre piscicultura e a hidroponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, Viçosa, v.3, n. 2, p.52-61, Dezembro 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.21206/rbas.v3i2.218>>. Acesso em: 16 out. 2020.

JOHNSON, D.M.; WARDLOW, G. W. A. Prototype Recirculating AquacultureHydroponic System. **Journal of Agricultural Mechanization**, University of Arkansas, November, n.7, p. 1-10. 1997. Disponível em: <https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/JOHNSON%20WARLOW%201997%20A%20Prototype%20Recirculating%20Aquaculture-Hydroponic%20System.pdf>. Acesso em: 19 out. 2020.

JOURNEY, W.; SKILLICORN, P. W.; SPIRA, W. **Duckweed aquaculture. A new aquatic farming system for developing countries**. World Bank Publication. Washington, D.C. 1993. 67 p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/242631709_Duckweed_Aquaculture_A_New_Aquatic_Farming_System_for_Developing_Countries>. Acesso em: 20 nov. 2020.

KADLEC, R.H.; WALLACE, S.D. **Treatment wetlands**, 2ª ed. Boca Raton: CRC Press, 2009. Disponível em: <https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/KADLEC%20WALLACE%2009%20Treatment%20Wetlands%202nd%20Edition_0.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

KUBITZA, F. Qualidade da Água na produção de peixes. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, março/abril 1998. Disponível em: <<https://panoramadaaquicultura.com.br/qualidade-da-agua-na-producao-de-peixes-parte-i/#:~:text=Quanto%20maior%20a%20concentra%C3%A7%C3%A3o%20de,consumo%20de%20oxig%C3%AAnio%20pelos%20peixes>>. Acesso em: 19 out. 2020.

LAPA, K. R.; ARANA, L. A. V. Sistemas de Recirculação Aquícola – RAS – Quando utilizar? **Aquaculture Brasil**, [s.l.], 2016. Disponível em: <<https://www.aquaculturebrasil.com/artigo/12/sistemas-de-recirculacao-aquicola-%E2%80%93-ras-%E2%80%93-quando-utilizar#:~:text=No%20Brasil%2C%20os%20sistemas%20de,realizam%20seus%20experimentos%20utilizando%20RAS>>. Acesso em: 19 out. 2020.

LEIRA, M.H.; CUNHA, L.T.; BRAZ, M.S.; MELO, C.C.V.; BOTELHO, H.A. REGHIM, L.S. Qualidade da água e seu uso em pisciculturas. **PUBVET**, Maringá, v.11, n.1, p.11-17, Jan. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.22256/pubvet.v11n1.11-17>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

LES D. H., CRAWFORD, D. J. *Landoltia* (Lemnaceae), a New Genus of Duckweeds. **Journal for Botanical Nomenclature**, [s.l.], v. 9, n. 4, p. 530 – 533, 1999. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/235890968_Landoltia_Lemnaceae_a_New_Genus_of_Duckweeds>. Acesso em: 23 nov. 2020.

LISBÔA, Sheyla Mayara Feitosa Lisbôa. **Aquaponia superintensiva: tratamento e reuso de água**. 2019. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

LOVE, D. C.; FRY, J. P.; GENELLO, L.; HILL, E. S.; FREDERICK, J.A.; LI, X.; SEMMENS, K. An international survey of aquaponics practitioners. **PLoS One**, San Francisco, v. 9, p. 1-10, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102662>>. Acesso em: 19 out. 2020.

MARENGONI, N. G. Produção de tilápia do Nilo *Oreochromis niloticus* (linhagem chitralada), cultivada em tanques-rede, sob diferentes densidades de estocagem. **Archivos de Zootecnia**, Andalucía, v. 55, n. 210, p.127-138, 2006. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49521001>>. Acesso em: 19 out. 2020.

MARISCAL-LAGARDA, M. M. *et al.* Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low salinity groundwater: management and production. **Aquaculture**, [s.l.], v. 366-367, p. 76-84, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.09.003>>. Acesso em: 19 out. 2020.

MAROTTI, M.; PICCAGLIA, R.; GIOVANELLI, E. Differences in essential oil composition of Basil (*Ocimum basilicum* L.) Italian cultivars related to morphological characteristics. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, [s.l.], v.44, n.12, p.3926-3929, 1996. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/jf9601067>>. Acesso em: 05 nov. 2020.

MATEUS, J. Acuaponía: hidroponía y acuicultura, sistema integrado de producción de alimentos. **RED Hidroponía**, La Molina, v. 44, p. 7-10, 2009. Disponível em: <<http://anyflip.com/xrvf/jgyo/basic>>. Acesso em: 19 out. 2020.

MOHEDANO, Rodrigo de Almeida. **Tratamento de efluente e produção de alimento, em cultivo de tilápias (*O. niloticus*), através da macrófita aquática *Lemna valdiviana* (Lemnaceae) – Uma contribuição para a sustentabilidade da aquicultura**. 2004. 52 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/87962>>. Acesso em: 19 out. 2020.

MOHEDANO, Rodrigo de Almeida. **Uso de macrófitas lemnáceas (*Landoltia punctata*) no polimento e valorização do efluente de suinocultura e na fixação de carbono**. 2010. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/94053/288895.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

MOHEDANO, R. A.; RODRIGUES, J. B. R.; FRACALLOSSI, D. M. *Lemna valdiviana*, uma planta que além de tratar efluentes alimenta os peixes cultivados. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 15, p. 33-40, 2005. Disponível em: <<https://panoramadaaquicultura.com.br/lemna-valdiviana/>>. Acesso em: 19 out. 2020.

MONTOYA, R.A.; LAWRENCE, A.L.; GRANT, W.E.; VELASCO, M. Simulation of phosphorus dynamics in an intensive shrimp culture system: effects of feed formulation and feeding strategies. **Ecological Modeling**, [s.l.], v.129, p.131-42, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00230-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00230-1)>. Acesso em: 19 out. 2020.

MULLER, A.G. **Comportamento térmico do solo e do ar em alface em diferentes tipos de cobertura do solo**. 1991. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-20191218-105930/publico/MullerArturGustavo.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2020.

PEIXE BR (Associação Brasileira da Piscicultura). **Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2020**. Veículo oficial da Associação Brasileira da Piscicultura. Disponível em: <<https://www.peixebr.com.br/anuario-2020/>>. Acesso em: 10 out. 2020.

POTT, V. J.. Lemnaceae. In: WANDERLEY, M. G. L.; SHEPHERD, G.G.; GIULIETTI, A.M.; MELHEM, T. S.; BITTRICH, V.; KAJMEYAMA (eds.). **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**, vol. 2. São Paulo: FAPESP: HUCITEC, 2002. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutodebotanica/wp-content/uploads/sites/235/2016/06/FFESP-Volume-II_06_24.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

QUEIROZ, J.F.; FREATO, T.A.; LUIZ, A.J.B.; ISHIKAWA, M.M.; FRIGUETTO, R.T.S. **Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, Documentos 113, dez. 2017. 29 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/178041/1/2018DC01.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2020.

QUILLERÉ, I.; ROUX, L.; MARIE, D.; ROUX, Y.; GOSSE, F.; MOROT-GAUDRY, J.F. An artificial productive ecosystem based on a fish/bacteria/plant association. 2. Performance. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s.l.], v.53, n.1, p.19-30, 1995. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0167-8809\(94\)00551-O](https://doi.org/10.1016/0167-8809(94)00551-O)>. Acesso em: 10 out. 2020.

RAN, N., AGAMI, M., ORON, G. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel. **Water Research**, [s.l.], v. 38, n. 9, p. 2241-2248, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.01.043>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

RAKOCY, J.E.; MASSER, M.; LOSORDO, T. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. **SRAC Publications**, Stoneville, v.454, p.1-16, 2006. Disponível em: <http://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_454_recirculating_aquaculture_tank_production_systems_-_aquaponics_-_integrating_fish_and_plant_culture.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.

RIBEIRO, João Paulo Moraes. **Uso de macrófitas lemnáceas para a remoção de nitrogênio do esgoto sanitário de uma lagoa de estabilização**. 2016. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Coordenação de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5364/1/LD_COEAM_2016_1_10.pdf>. Acesso em: 19 out. 2020.

RIGO, Cristiano Dalmoro. **Avaliação de desempenho entre substrato e um sistema de aquaponia com tilápias (*Oreochromis niloticus*) para o cultivo de alface (*Lactuca sativa*) e chicória (*Cichorium intybus*)**. 2017. 15 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/178188/TCC%20-%20Cristiano%20Dalmoro%20Rigo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 19 out. 2020.

ROOSTA, H. R.; AFSHARIPOOR, S. Effects of different cultivation media on vegetative growth, ecophysiological traits and nutrients concentration in strawberry under hydroponic and aquaponic cultivation systems. **Advances in Environmental Biology**, Washington, v.6, n.2, p.543-555, 2012. Disponível em: <<http://www.aensiweb.com/old/aeb/2012/543-555.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2020.

SANTOS, A. N.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. DE F. E.; SILVA, D. J. R.; MONTENEGRO, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.961-969, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000900008>>. Acesso em: 19 out. 2020.

SEAWRIGHT, D.E.; STICKNEY, R.R.; WALKER, R.B. Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. **Aquaculture**, [s.l.], v. 160, p. 215-237. 1998. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00168-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00168-3)>. Acesso em: 23 nov. 2020.

SILVA, V.F.; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M.Z.; PEDROSA, J.F. Comportamento de cultivares de alface em diferentes espaçamentos sob temperatura e luminosidade elevadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 183-187, nov. 2000. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/hb/v18n3/v18n3a08.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

SILVA, M.S.G.M. E; LOSEKANN, M.E.; HISANO, H. **Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes**. Embrapa Meio Ambiente, Documentos 95. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2013. 39 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/972692/1/Doc95.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

SIQUEIRA, P. K. DE M. S.; ANDREAZZI, M.A.; SCHMDIT FILHO, E.; GASPAROTTO, F.; REZENDE, L.C.S.H.; PEDRANGELO, A.C.S. Sistemas de aquaponia acionados por energias limpas: uma combinação sustentável. **Revista Educação Ambiental em Ação**, [s.l.], n. 64, 2018. Disponível em: <<http://revistaea.org/artigo.php?idartigo=3220>>. Acesso em: 03 jul. 2020.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F.; JORGE, C. Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.705-714, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000700004>>. Acesso em: 19 out. 2020.

SOMERVILLE, C., COHEN, M., PANTANELLA, E., STANKUS, A.; LOVATELLI, A. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. **FAO Fisheries**

and Aquaculture Technical Paper, Rome, n. 589, 2014. 262 p. Disponível em: <<https://proquest.com/docview/1708921193>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

TAVARES, F.A.; RODRIGUES, J.B.R.; FILHO, P.B.; LOBO-RECIO, M.A.; LAPOLLI, F.R. Desempenho da macrófita *Lemna valdiviana* no tratamento terciário de efluentes de suinocultura e sua contribuição para a sustentabilidade da atividade. **Biotemas**, Florianópolis, v. 21, n. 1, p. 17-27, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.5007/2175-7925.2008v21n1p17>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

TAVARES, F.A.; LAPOLLI, F.R.; ROUBACH, R.; JUNGLES, M. K.; FRACALOSSI, D.M.; MORAES, A.M. Use of Domestic effluent through duckweeds and red tilapia farming in integrated system. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, [s.l.], v. 5, n.1, p. 1-10. 2010. Disponível em: <[https://panamjas.org/pdf_artigos/panamjas_5\(1\)_1-10.pdf](https://panamjas.org/pdf_artigos/panamjas_5(1)_1-10.pdf)>. Acesso em: 28 nov. 2020.

TYSON, R.V.; SIMONNE, E. H.; WHITE, J. M.; LAMB, E. M. Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Flórida, v. 117, n. 1, p. 79-83. 2004. Disponível em: <<http://fshs.org/proceedings-o/2004-vol-117/079-083.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

VALENTIM, Marcelus Alexander Acorinte. **Desempenho de leitos cultivados (“Constructed Wetlands”) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação**. 2003. 233 f. Tese (Doutorado em m Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2003. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257550/1/Valentim_MarcelusAlexanderAcorinte_D.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.

VIEIRA, Brenda. **Remoção de nutrientes de efluentes líquidos através de lagoas de lemnas com chicanas**. 2013. 58 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/30402075.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

WONKIEW, S., POPP, B.N., KIM, H.J., KHANAL, S.K. Fate of nitrogen in floating-raft aquaponic systems using natural abundance nitrogen isotopic compositions. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [s.l.], v. 125, p. 24-32, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.08.006>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

ZANIBONI-FILHO, E. O desenvolvimento da piscicultura brasileira sem a deterioração da qualidade de água. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 57, n. 1, p. 3-9. 1997.

CAPÍTULO 2

Desempenho produtivo e qualidade da água no sistema aquapônico com diferentes densidades de cultivo de *Oreochromis niloticus*

Resumo. No sistema aquapônico, há uma relação direta entre a quantidade de vegetais que serão produzidos e a biomassa de peixes estocada no sistema, uma vez que a quantidade de nutrientes que entra no sistema e estará disponível para as plantas é determinada pela quantidade de ração que é ofertada aos peixes. A quantidade de peixes, por sua vez, dependerá da capacidade de remoção de nutrientes da água pelos vegetais produzidos. O objetivo desse trabalho foi avaliar o sistema de aquaponia, por meio da determinação da densidade ideal de estocagem de tilápias-do-nylo *Oreochromis niloticus* que irá proporcionar o melhor desempenho produtivo no sistema e da capacidade de tratamento do efluente de seu cultivo pela alface *Lactuca sativa* L. O experimento foi conduzido nas instalações do Laboratório de Aquaponia da Symbiotec – Aquicultura e Sistemas Integrados de Produção Ltda. em Piracicaba – SP, seguindo um delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos (50, 100, 150 e 200 peixes/m³) e três repetições, totalizando 12 módulos experimentais. O sistema foi abastecido com tilápias nilóticas *Oreochromis niloticus* da linhagem GIFT com peso inicial médio de 127g e mudas de alface *Lactuca sativa* L., do tipo crespa. A qualidade da água foi monitorada diariamente quanto à temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica e semanalmente quanto aos níveis de compostos nitrogenados e fosfatados. Os resultados mostraram que diferentes densidades de cultivo de *Oreochromis niloticus* não interferiram no desempenho produtivo dos peixes, evidenciando a viabilidade da criação de tilápias em alta densidade integrada ao sistema hidropônico de alface, com tratamento e recirculação de água. Entretanto, dados de produtividade das alfaces mostraram que apenas o tratamento T4, relativo a 114 g de ração / m² de cultivo vegetal, apresentou resultados compatíveis com o esperado numa produção comercial. A associação entre as bactérias nitrificantes do biofiltro e o cultivo hidropônico de alface se mostraram eficientes para tratar o efluente do sistema de piscicultura intensiva e manter a qualidade da água necessária ao cultivo das tilápias, ao reduzir principalmente, os níveis de amônia, tóxica aos peixes.

Palavras-chave: Aquaponia. *Oreochromis niloticus*. *Lactuca sativa* L.. Sistema de recirculação aquícola. Hidroponia. Cultivo superintensivo.

Abstract. In an aquaponic system, there is a direct relationship between the amount of vegetables that will be produced and the density of fish stored in the system, since the amount of nutrients that enter the system and will be available to the plants is determined by the amount of food that is offered to fish. The amount of fish, in turn, will depend on the quantity of nutrients to be removed from the water by the vegetables produced. The goal of this work was to evaluate the the aquaponics system, by determining the ideal stocking density of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* that will provide the best productive performance in the system and the treatment capacity of the cultivation effluents by the growing lettuce *Lactuca sativa* L.. The experiment was conducted at the Symbiotec Aquaponics Laboratory - Aquicultura e Sistemas Integrados de Produção Ltda. in Piracicaba - SP, following a completely randomized design with 4 treatments (50, 100, 150 and 200 fish/m³) and three replications, totaling 12 experimental modules. The system was supplied with Nile tilapia *Oreochromis niloticus* from the GIFT lineage with an average initial weight of 127g and lettuce seedlings *Lactuca sativa* L., of the curly type. Water quality was monitored daily for temperature, pH, dissolved oxygen and electrical conductivity and weekly for levels of nitrogenous and phosphate compounds. The results showed that different cultivation densities of *Oreochromis niloticus* did not interfere in the productive performance of the fish, showing the feasibility of raising tilapia in high density integrated to the hydroponic lettuce system, with treatment and water recirculation. However, lettuce productivity data showed that only the T4 treatment, relative to 114 g of feed / m² of vegetable cultivation, showed results compatible with what is expected in a commercial production. The association between nitrifying bacteria from the biofilter and the hydroponic cultivation of lettuce proved to be efficient to treat the effluent of the intensive fish farming system and to maintain the quality of the water that is necessary for the cultivation of tilapia, mainly reducing the levels of ammonia, toxic to fish.

Keywords: Aquaponics. *Oreochromis niloticus*. *Lactuca sativa* L. Recirculation aquaculture system. Hydroponics. Superintensive cultivation.

1 INTRODUÇÃO

A piscicultura é um dos setores de atividade agropecuária que mais cresceu nas últimas décadas no Brasil e no mundo, superando até mesmo outras atividades rurais mais tradicionais (Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO, 2020). Este crescimento acelerado está relacionado, entre outros fatores, ao fato da piscicultura ser uma atividade produtora de proteína animal de alta qualidade e em grande quantidade por área utilizada. Contudo, todo este potencial de crescimento da aquicultura revela uma preocupação com relação às questões ambientais uma vez que, juntamente com o desenvolvimento, os impactos causados por essa atividade também tendem a crescer.

Uma das grandes preocupações que o sistema de aquicultura tradicional traz, está associado ao alto consumo de água e à geração de efluentes com cargas orgânicas semelhantes ao esgoto doméstico (HU *et al.* 2015). Segundo Valenti (2002), a aquicultura sustentável pode ser definida como a produção lucrativa de organismos aquáticos, mantendo uma interação harmônica duradoura com os ecossistemas e as comunidades locais. No caso da piscicultura, incluir ações que visem à redução no consumo de água, o tratamento dos resíduos gerados e o reaproveitamento da água, através do seu reuso, por exemplo, são algumas das estratégias a serem adotadas para tornar a produção mais sustentável e menos impactante ao meio ambiente (LISBÔA, 2019).

A aquaponia surge então como uma alternativa mais sustentável que os sistemas de cultivo tradicionais ao integrar o cultivo de peixes com a produção de hortaliças, onde a água residual da piscicultura, com elevada carga de matéria orgânica, passa por um processo de filtragem que retém o excesso de matéria orgânica e de sólidos em suspensão, e por biofiltros que decompõem a matéria orgânica e disponibilizam os nutrientes para serem absorvidos pelas hortaliças. Essas plantas, ao retirarem o excesso de nutrientes da água, retornam, para os tanques de piscicultura, água com qualidade suficiente para um bom desenvolvimento dos peixes. Assim, além do sistema proporcionar a possibilidade de total reutilização da água, em um sistema fechado, sem a necessidade de captação constante de água dos cursos naturais e o lançamento de efluentes altamente carregados de matéria orgânica, permite ainda o reaproveitamento dos compostos nitrogenados e fosfatados, gerados pela atividade piscícola, para a nutrição das hortaliças.

Apesar de alguns estudos já serem realizados ao redor do mundo, com bons resultados de desempenho (RAKOCY *et al.*, 2006), existe uma necessidade de se avaliar esses sistemas

em nossos ambientes de cultivo e com o material genético usualmente empregado em nossa cadeia produtiva, para garantir a maximização da relação custo e benefício e a validação do sistema aquapônico para a realidade piscícola nacional.

As tilápias *Oreochromis niloticus* são peixes nativos da África e uma das espécies de água doce mais popular do mundo. Atualmente, juntamente com outras espécies de tilápia, é um dos peixes mais criados em sistemas de aquicultura no Brasil e no mundo. O motivo de sua popularidade explica-se pela sua elevada resistência a parasitas, a patógenos e ao manejo, tendo, inclusive, pacotes tecnológicos bem desenvolvidos e avançados para a sua produção. Quanto à densidade de cultivo, é uma das espécies de peixes que melhor se adaptaram ao sistema superintensivo de produção, permitindo assim que sejam obtidas produtividades bem maiores que os sistemas intensivos tradicionais. A espécie pode ainda ser agressiva em baixas densidades, uma vez que os machos são extremamente territorialistas, sendo ideal, portanto, que sejam cultivados em altas densidades nos tanques de crescimento (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

A densidade de cultivo, entretanto, dependerá da qualidade da água a ser fornecida para os peixes uma vez que eles dependem da água para realizar todas as suas funções, ou seja, respirar, se alimentar, crescer e se desenvolver. A qualidade da água em qualquer tipo de cultivo é de suma importância para o sucesso da produção, mas em piscicultura, especialmente, ela é a principal matéria prima do processo. Assim, as características da água podem afetar diretamente a sobrevivência, o crescimento, o desempenho produtivo e a qualidade de produção dos peixes (LEIRA *et al.* 2017).

No sistema aquapônico, há uma relação direta entre a quantidade de vegetais que serão produzidos e a biomassa de peixes estocada no sistema, uma vez que a quantidade de nutrientes que entra no sistema e estará disponível para as plantas é determinada pela quantidade de ração que é ofertada aos peixes. A quantidade de peixes, por sua vez, dependerá da capacidade de remoção de nutrientes da água pelos vegetais produzidos. Desta forma, é essencial o conhecimento do efluente gerado pelos peixes, em relação à concentração de nutrientes exigidos pelas plantas e sua capacidade de absorção.

A alface *Lactuca sativa* é uma planta de porte herbáceo, originária do Mediterrâneo, e considerada a hortaliça folhosa mais importante na alimentação do brasileiro. É a hortaliça mais produzida no Brasil, tanto em solo como em sistemas hidropônicos, onde representa 90% dos cultivos hidropônicos no país, principalmente pelo fácil manejo que a cultura permite, aliado ao seu ciclo curto e rápido (CARVALHO *et al.*, 2005; GUALBERTO *et al.*, 1999; SANTOS *et al.* 2010; SOARES *et al.*, 2010).

Esse estudo teve como objetivo, portanto, avaliar o efeito da densidade de cultivo de tilápias *Oreochromis niloticus* no desempenho produtivo de um sistema aquapônico e a capacidade de tratamento do efluente pela alface *Lactuca sativa* L., tendo os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a influência da densidade de estocagem das tilápias-do-Nilo *Oreochromis niloticus* no desempenho zootécnico, na qualidade de água e na produtividade e estado nutricional da cultura de alfaces *Lactuca sativa* L.;
- Avaliar as condições físicas e químicas da água de recirculação no sistema aquapônico estudado e sua relação com o desenvolvimento das tilápias e das alfaces;
- Avaliar a capacidade de remoção dos compostos nitrogenados e ortofosfato no efluente de piscicultura pelo cultivo hidropônico da alface *Lactuca sativa* L., conforme as diferentes densidades de cultivo de peixes.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido nas instalações do Laboratório de Aquaponia da Symbiotec – Aquicultura e Sistemas Integrados de Produção Ltda., município de Piracicaba – SP, cujas coordenadas geográficas são de 22°42'30''S e 47°38'00''W e, aproximadamente, 576 m de altitude, com relevo suave ondulado, no período de setembro a novembro de 2019. O clima da região, de acordo com Köppen, é do tipo Cwa, tropical de altitude, com temperatura média anual de 21,6°C e precipitação média anual de 1230 mm.

Para este experimento, foram utilizados 12 módulos experimentais de aquaponia, construídos dentro de uma estufa agrícola (14 m x 12,6 m, 176,4 m² de área, 3 m de pé direito e 4,7 m altura máxima do arco), com coberturas fixa de filme plástico de 150 µ e móvel de tela de sombreamento aluminizada (FRESHNET®) para redução de 50% da intensidade luminosa (FIGURA 2.1). As laterais são de sombrite 30% (fixo) e filme plástico de 150 µ (móvel, tipo manivela).

FIGURA 2.1 – Estufa agrícola onde foram instalados os módulos experimentais de aquaponia utilizados neste estudo.

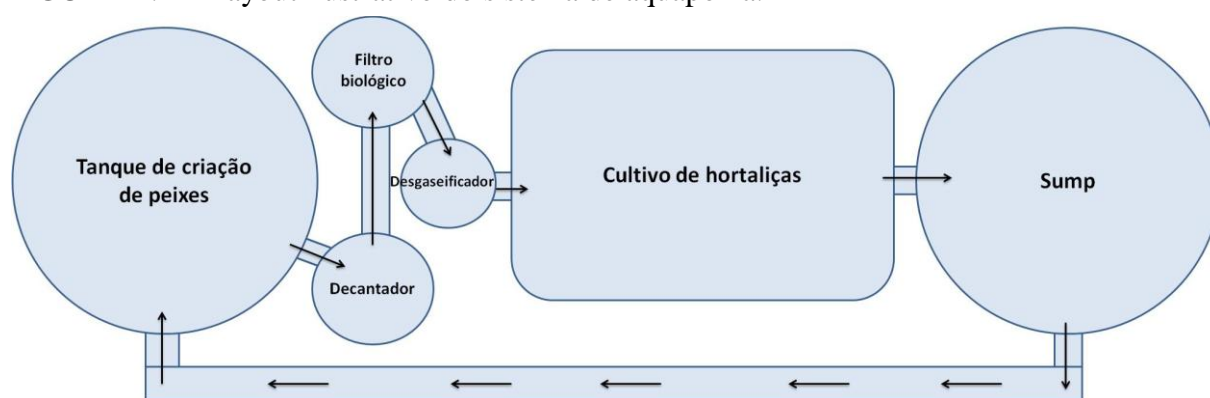


Fonte: Thiago Archangelo Freato.

2.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE AQUAPONIA

Cada módulo experimental de aquaponia foi composto, basicamente, por uma caixa d'água circular com capacidade de 500 litros para criação dos peixes, acoplada a um módulo de filtragem para tratamento da água e a plataforma para o cultivo hidropônico, de forma que cada sistema é totalmente individualizado e com sua própria bomba d'água (FIGURA 2.2) (adaptado de RAKOCY *et al.*, 2006). Também foi acoplado um sistema manual de controle de temperatura e um compressor radial para oxigenação ao longo de todo o sistema.

FIGURA 2.2 – Layout ilustrativo do sistema de aquaponia.

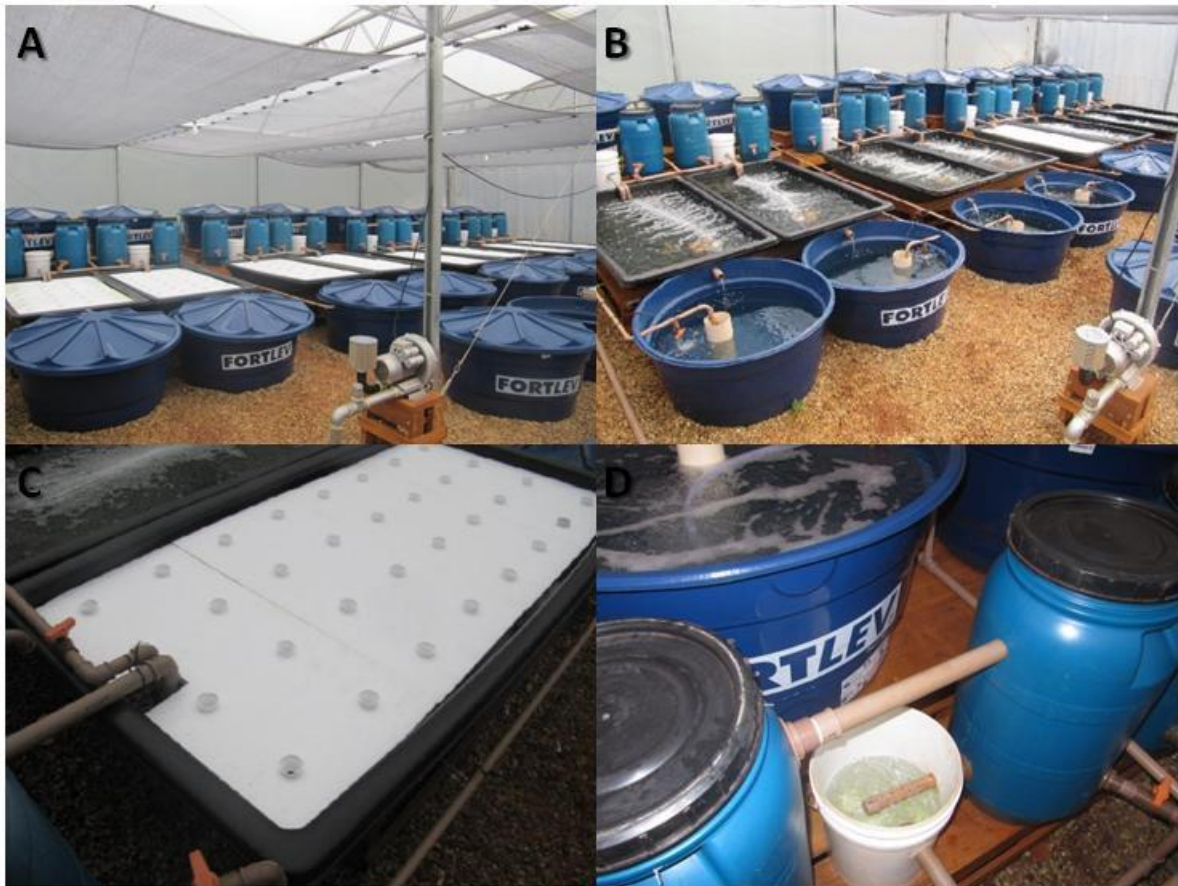


Fonte: da autora.

A plataforma de cultivo de hortaliças é do tipo DFT (*Deep Film Technique*), também chamado de *floating*. Nesse modelo, as hortaliças ficam dispostas em placas de poliestireno extrudada (“jangadas”), com as raízes submersas na água, dentro de tanques retangulares com 2 m² de área superficial e coluna d’água de 25cm sob aeração constante (FIGURA 2.3). Cada tanque de cultivo de hortaliça tem capacidade de 500 litros de água e comporta 32 mudas, distribuídas em quatro fileiras com oito aberturas, no qual a solução nutritiva será a água residual da criação dos peixes que percorrerá o sistema radicular das plantas.

Já o módulo de filtragem é constituído por um decantador cilíndrico de fluxo radial para remoção de sólidos, um filtro biológico para reciclagem de nutrientes e um tanque degaseificador com forte aeração que, ao agitar a água, contribui para a oxigenação da água e eliminação de gases (FIGURA 2.3). O sistema de filtragem conta ainda com um tanque *sump* para coleta da água das bancadas de hidroponia e que possui uma bomba elétrica instalada no seu interior para retorno da água aos tanques de criação de peixes.

FIGURA 2.3 – A e B) Vista geral dos módulos de aquaponia. C) Detalhe da placa de poliestireno extrudada para suporte das hortaliças. D) módulo de filtragem.



Fonte: Thiago Archangelo Freato.

A água residual de cada tanque, utilizado para cultivo dos peixes, sai por um cano central, onde se retira o excesso de sólidos decantado no fundo das caixas e segue para um tambor plástico com capacidade de 90 litros onde passa por uma barreira mecânica para sedimentação e redução de sólidos particulados e excesso de matéria orgânica, que poderiam aderir às raízes das hortaliças cultivadas e prejudicar o seu crescimento, considerando que impedem a absorção dos nutrientes. Em seguida, a água passa por um filtro biológico submerso de leito fixo, aeróbio, de fluxo descendente, construído em tambor plástico de 90 litros, que contém 50 litros de argila expandida como substrato para a fixação de colônias de bactérias nitrificantes, onde é realizada a biodegradação da matéria orgânica e disponibilizado os nutrientes para as hortaliças por meio da transformação da amônia tóxica, excretada pelos peixes, em nitrito e depois nitrato, que é uma substância absorvida pelas plantas (JUNGE *et al.*, 2017). Este biofiltro possui ainda um sifão tipo *Bell* para promover o sistema de

enchimento e esvaziamento (*float and drain*), garantindo alta eficiência na oxigenação do meio filtrante.

Esse processo de biodegradação produz dióxido de carbono, metano, gás sulfídrico e outros gases que, se forem bombeados diretamente para as bancadas de hidroponia, podem prejudicar o crescimento das plantas. Assim, após o filtro biológico, a água passa ainda pelo desgaseificador, um balde plástico com capacidade de 20 litros onde é descarregada a água proveniente do biofiltro, por meio de um cano todo perfurado.

Quando o sifão *Bell*, localizado no biofiltro, é acionado, a água sai do biofiltro com certa pressão e força sua saída por esses furos, causando um efeito de chuveiro que incorpora mais oxigênio à água. Só então depois desse processo, que a água é bombeada à bancada de cultivo hidropônico para nutrição das hortaliças em crescimento. Por fim, o efluente é conduzido ao *sump*, outra caixa circular de fibra com capacidade de 500 litros, onde a água é bombeada de volta aos tanques de piscicultura, reiniciando assim, seu ciclo de utilização.

2.3 MONTAGEM DO EXPERIMENTO E MANEJO DO SISTEMA AQUAPÔNICO

Para povoamento das caixas de cultivo dos peixes, foram utilizados 750 indivíduos de tilápias nilóticas (*Oreochromis niloticus*) da linhagem GIFT, com peso médio de 127g cada, provenientes da piscicultura “Fazenda Santo Antônio Brumado”, localizada em Mogi Mirim - SP. Antes do início do experimento, elas foram contadas, pesadas, medidas e distribuídas nos tanques em função da densidade de estocagem de cada tratamento: 50, 100, 150 e 200 peixes/m³, totalizando 25, 50, 75 e 100 peixes em cada tanque, respectivamente.

Os peixes foram alimentados três vezes ao dia (8h, 12h e 16h), utilizando ração comercial com 32% PB e granulometria de 4 mm (Laguna Tilapia Crescimento® da Socil), indicada ao hábito alimentar da espécie (QUADRO 2.1), a uma taxa de alimentação média de 1,7% da biomassa total de cada tanque. Foram realizadas biometrias quinzenais de uma amostra aleatória de 10 peixes de cada modulo, para a avaliação do desempenho zootécnico. O comportamento dos peixes, como movimentação e avidez na busca de alimentos, também foi observado diariamente para um maior controle da eficiência da recirculação na qualidade da água e, conseqüentemente, no bem estar dos peixes, preocupando-se sempre na manutenção de níveis de oxigênio acima de 4,0 mg/L⁻¹ (SOMMERVILLE *et al.*, 2014).

QUADRO 2.1 – Composição química da ração comercial com 32% PB e granulometria de 4 mm (Laguna Tilapia Crescimento® da Socil).

Composição Química	Ração comercial
Matéria Seca	91,4
Proteína bruta (%)	33,8
Extrato etéreo (%)	5,55
Fibra bruta (%)	4,2
Matéria mineral (%)	11,5
Nitrogênio não proteico (% NT)	12
Nutrientes digestíveis totais (%)	83,5
Energia Bruta (cal/g)	4.452

% com base na matéria seca. Fonte: da autora.

Após cinco dias de adaptação dos peixes nos tanques, 384 mudas de alface *Lactuca sativa*, do tipo crespa, cultivar Vera, provenientes da empresa Sakata, foram transplantadas nas bancadas de cultivo hidropônico (32 mudas em cada). O período para a produção das hortaliças foi de 42 dias, contados a partir do plantio das mudas nas bandejas hidropônicas, período após o qual as plantas foram colhidas.

Os tanques de filtragem do sistema aquapônico foram drenados semanalmente, assim como o lodo presente no fundo dos tanques de filtragem foi retirado. A matéria orgânica sobrenadante foi retirada com puçás. Para abastecimento do sistema, foi utilizada água de poço artesiano, cujo pH é alcalino (8,3) e as renovações semanais da água perdida no sistema, devido à drenagem dos tanques de filtragem ou evapotranspiração das plantas, foram de aproximadamente 7% do volume total.

2.4 DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DOS PEIXES

Com a finalidade de comparar o desempenho produtivo das tilápias nilóticas, de acordo com as diferentes densidades de estocagem, foram realizadas biometrias quinzenais onde uma amostra de 10 indivíduos de cada módulo foi pesada e medida quanto ao seu comprimento padrão para, ao final do experimento, poder estimar as variáveis:

Com a finalidade de se avaliar o desempenho zootécnico das tilápias, em função das diferentes densidades de cultivo, os peixes de cada módulo experimental foram contados e

pesados em lotes, ao início e ao final do experimento. O consumo de ração durante o período também foi registrado. As variáveis de desempenho zootécnico avaliadas foram:

- i) Ganho em peso - GP (g) – calculado pela diferença entre peso corporal observado ao final do experimento e peso inicial ao início do experimento, contado a partir da primeira biometria.
- ii) Sobrevivência - S (%) – fundamentada em observações diárias de peixes mortos e contagem do lote ao final do experimento.
- iii) Biomassa acumulada ao final do ciclo - BIOM (g) – peso total do lote de peixes de cada tanque ao final do período de cultivo.
- iv) Ganho de biomassa total - GBIOM (g) - calculado pela diferença entre a biomassa registrada ao final do experimento e a biomassa inicial ao início do experimento, contado a partir da primeira biometria.
- v) Consumo total no período - CONS (g) - quantidade de ração fornecida durante todo o período.
- vi) Conversão alimentar aparente - CAA – calculada dividindo-se as gramas de alimento fornecido pelas gramas de ganho em peso, considerando que todo alimento ofertado será consumido.
- vii) Taxa de crescimento específico - TCE (% dia) – calculada pela fórmula de Legendre e Kerdchuen (1995), onde $TCE = [(\log \text{ peso final} - \log \text{ peso inicial}) * \text{duração em dias do experimento}] * 100$.
- viii) Fator de condição - FC – relação entre o peso e o comprimento padrão dos peixes.

2.5 DESEMPENHO PRODUTIVO DAS HORTALIÇAS

Para a avaliação do crescimento das hortaliças, aos 42 dias de cultivo após o transplante das mudas, foram realizadas as análises de fitomassa fresca e seca de uma amostra de cada bancada e da composição de macro e micronutrientes das folhas e raízes de alface. Cada amostra foi constituída de oito plantas escolhidas aleatoriamente de cada bancada de cultivo excluindo-se a bordadura, a fim de avaliar qual foi a melhor relação entre a quantidade de ração fornecida aos peixes e o desempenho produtivo das plantas cultivadas, bem como de possíveis suplementações necessárias para uma maximização do desempenho produtivo do sistema estudado.

Para a obtenção da fitomassa fresca, as raízes foram separadas da parte aérea, para então serem pesadas separadamente. Após a pesagem, foram colocadas em bandejas individuais e levadas à estufa de ventilação forçada à temperatura aproximada de 60°C, até atingirem massa constante, sendo em seguida, utilizada balança eletrônica com precisão de 0,01g para pesar o material e se obter a fitomassa seca da parte aérea, raiz e fitomassa seca total. Após a coleta, secagem e determinação da fitomassa seca, as amostras foram enviadas para laboratório para análise da composição de macro e micronutrientes.

2.6 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Para monitorar a qualidade da água do sistema e avaliar se há alteração em virtude das densidades de cultivo dos peixes, temperatura, potencial hidrogeniônico, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica da água dos tanques de piscicultura foram aferidos diariamente, por meio de aparelho digital HORIBA, modelo U-52. Além disso, foram realizadas semanalmente coletas de amostra das águas para acompanhamento dos níveis de compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) e fosfatados. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia Ambiental – LAMA da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, por meio de um espectrofotômetro UV-visível e por volumetrias realizadas segundo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012). Esses parâmetros foram mensurados na água de abastecimento do sistema e no efluente dos tanques de cultivo dos peixes, logo após a passagem pelos biofiltros, após a passagem pelas bancadas de cultivo hidropônico e na saída dos tanques *sump*.

2.7 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O experimento foi realizado seguindo um delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos, sendo quatro densidades de estocagem dos peixes (50, 100, 150 e 200 peixes/m³), com três repetições, totalizando 12 módulos experimentais (QUADRO 2.2). Cada módulo foi considerado como uma unidade experimental e, o valor médio de cada unidade experimental, foi utilizado para as análises estatísticas.

QUADRO 2.2 – Apresentação dos tratamentos com as respectivas densidades de estocagem dos peixes e os módulos experimentais correspondentes às três repetições de cada tratamento.

Tratamento	Densidade de peixes (ind/m ³)	Módulo		
T1	50	5	8	12
T2	100	4	7	15
T3	150	1	10	13
T4	200	3	9	14

Fonte: da autora.

Os dados referentes à qualidade da água, desempenho das culturas de alface e dos peixes foram analisados pela análise de variância (ANOVA *one-way*), usando o software R (R CORE TEAM, 2019), considerando os pré-requisitos de distribuição normal e homogeneidade de variâncias, analisados pelos testes de Shapiro-Wilk e de Levene, respectivamente (ZAR, 2010). Diferenças significativas entre as médias foram detectadas por meio do teste de Tukey (SOKAL; ROHLF, 1995), utilizando o pacote *agricolae* (MENDIBURU, 2019). Também foram realizadas análises gráficas para estudar o comportamento dos parâmetros de qualidade de água em função do tempo de cultivo, para cada densidade de estocagem dos peixes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DESEMPENHO PRODUTIVO DOS PEIXES

No início do experimento, os peixes possuíam peso médio unitário de 127 g em todos os tratamentos, totalizando uma biomassa média inicial de 3,187 kg no tratamento T1, 6,411 kg no tratamento T2, 9,449 kg no tratamento T3 e 12,823 kg no tratamento T4. Após os 42 dias de cultivo, os peixes atingiram peso médio unitário de 167 g, com um ganho em peso variando de 37 a 44 g e comprimento médio padrão de 15,7 cm, não sendo verificada diferença significativa entre os tratamentos. A biomassa média final foi de 4,205 kg no T1, 8,503 kg no T2, 11,741 kg no T3 e 15,955 kg no T4. Um total de 23 indivíduos mortos foi registrado durante todo o período de cultivo. Os dados de desempenho produtivo dos peixes estão apresentados na Tabela 2.1.

TABELA 2.1 – Desempenho zootécnico das tilápias do Nilo *Oreochromis niloticus*, cultivadas em sistema de aquaponia, em diferentes densidades.

Densidade de estocagem (peixes kg por m ³)	Tratamento				p
	T1 50 8	T2 100 16	T3 150 24	T4 200 32	
GP ^{ns}	40,7	44,0	37,1	38,5	0,352
CP ^{ns}	15,5	15,9	15,9	15,4	0,853
PM ^{ns}	168,2	170,2	163,1	166,8	0,720
SOBREV	100 a	99,3 ab	96,0 b	95,7 b	0,011
BIOM	4,205 a	8,503 b	11,741 c	15,955 d	1,586E-08
GP BIOM	1,018 a	2,092 b	2,291 b	3,132 c	4,704E-05
CONS	2,614 a	5,108 b	7,321 c	9,567 d	4,777E-12
CAA ^{ns}	2,6	2,4	2,8	2,6	0,335
TCE ^{ns}	0,66	0,69	0,61	0,63	0,684
FC ^{ns}	2,5	2,4	2,2	2,4	0,799

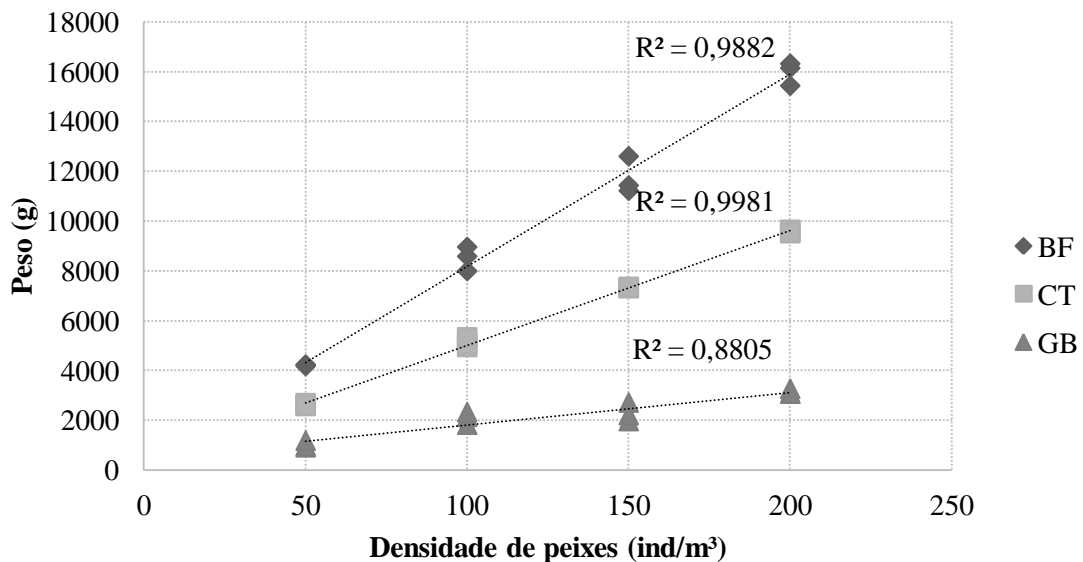
GP – Ganho de peso (g); CP – Comprimento padrão (cm); PM – peso médio (g); SOBREV – Sobrevivência (%); BIOM – Biomassa acumulada ao final do ciclo (kg); GP BIOM – Ganho de peso em biomassa total (kg); CONS – Consumo total no período (kg); CAA – Conversão alimentar aparente; TCE – Taxa de crescimento específico (%/dia); FC – Fator de condição alométrico. Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem entre si (p<0,05), pelo teste de Tukey. ^{ns} não significativo, a 0,05 de probabilidade, pelo teste F.

Fonte: da autora.

Conforme pode ser observado na Tabela 2.1, a análise de variância – ANOVA, realizada com os dados de desempenho zootécnico dos peixes cultivados no sistema aquapônico, resultou em valores de F significantes ao nível de 5% somente para sobrevivência, biomassa final, ganho de biomassa total e consumo total de ração, mostrando que os tratamentos não influenciaram as demais variáveis como ganho em peso, comprimento padrão, conversão alimentar aparente, taxa de crescimento específico e fator de condição.

Apesar dos tratamentos não terem afetado estatisticamente os valores de ganho de peso médio individual, o ganho total de biomassa, ao final do período de cultivo, foi significativamente e proporcionalmente maior nos tratamentos de maior densidade, assim como o consumo total de ração e a biomassa acumulada, como já verificado na Tabela 2.1 e melhor ilustrado na Figura 2.4, onde podemos observar o efeito linear dos tratamentos nessas variáveis.

FIGURA 2.4 – Biomassa final acumulada ao final do cultivo (BF), ganho total de biomassa (GB) e consumo total de ração durante o período de cultivo (CT), conforme a densidade de peixes em cada tratamento.



Fonte: da autora.

Os índices de sobrevivência foram superiores a 95%, similares aos encontrados em outros trabalhos que envolvem aquaponia, sistema de recirculação e cultivos com tilápia (EL-SAYED, 2006; ENDUT *et al.*, 2011; RAKOCY, 2012; CHOPIN, 2012; COELHO *et al.*, 2014; MOYA *et al.*, 2014; LAM *et al.*, 2015). Este alto índice de sobrevivência parece ser

resultado da rusticidade da espécie *Oreochromis niloticus* (RAKOCY, 2012), dos bons níveis de oxigênio, temperatura e pH da água, e do bom funcionamento em geral do sistema aquapônico. Além disso, no caso de trabalho como este, onde o sistema de produção é protegido pela presença de estufas, a tendência é que a sobrevivência ultrapasse os 95%, uma vez que não há a ação de predadores naturais como pássaros, por exemplo (BELINTANO *et al.*, 2020). A diferença significativa observada entre as taxas de mortalidade neste trabalho pode ser atribuída aos níveis de amônia que, conforme será relatado no item 3.3 (FIGURA 2.11), foram maiores nos tratamentos de maior densidade.

Os valores de conversão alimentar (CAA) ficaram entre 2,4 a 2,8, semelhante ao registrado por Hu *et al.* (2015) e Lenz *et al.* (2017), porém um pouco acima do esperado para a espécie e superior à reportada em outros trabalhos com aquaponia. Trabalhos de Rakocy *et al.* (2006), Moya *et al.* (2014), Delaide *et al.* (2017), por exemplo, tiveram CAAs entre 1,56 a 1,8, mas em cultivos mais longos que o deste trabalho. No caso da tilápia, alguns autores relatam conversões alimentares que chegam a 1,17 kg de ração para cada quilo de peixe produzido em sistema de recirculação (BAILEY *et al.*, 2000).

Como a conversão alimentar aparente relaciona o consumo de ração e o ganho de peso, quanto pior a conversão alimentar, maior o gasto com ração. Entretanto, segundo Kubitzka (1999), a conversão alimentar pode variar de acordo com o sistema de produção, densidade de estocagem, idade e tamanho dos peixes, sendo que as melhores conversões alimentares geralmente se encontram na faixa de 1,4 a 1,8. Assim, a conversão média de 2,58 observada nesse trabalho pode ser considerada alta, porém, provavelmente, se deve à fase de cultivo dos peixes e ao curto período de tempo do experimento, uma vez que o ciclo de produção de alface é mais curto que o das tilápias.

O ganho de peso médio diário dos peixes foi de 0,95 g, a taxa de crescimento específico médio foi de 0,65%/dia e não houve diferença significativa entre as densidades ($p > 0,05$). O resultado é semelhante aos obtidos por Crivelenti *et al.* (2009) e está dentro do esperado para a espécie que, de acordo com Somerville *et al.* (2014), pode atingir a massa de 500 g em 6 meses, se mantida dentro da faixa ideal de temperatura, que é de 27-30°C, como foi no caso deste estudo.

Quanto ao fator de condição, também não apresentou diferença significativa entre os tratamentos e os valores ficaram entre 2,2 e 2,5. Sendo um indicativo quantitativo que permite avaliar o bem-estar do peixe (LE CREN, 1951), o fator de condição pode ser utilizado na piscicultura para certificar o adequado manejo produtivo dos peixes (SALARO *et al.* 2015). De acordo com Gomiero *et al.* (2010), este fator deve permanecer constante,

independentemente do tamanho que o peixe possa atingir em um determinado período. Os resultados obtidos nesse estudo são semelhantes aos encontrados por Blum (2018) e, assim como no presente trabalho, Bailey *et al.* (2000) e Maeda *et al.* (2006) também verificaram que diferentes densidades de estocagem não afetaram o fator de condição de *Oreochromis niloticus*.

A produtividade de peixes no sistema de aquaponia relatada na literatura varia muito e é influenciada pelos diversos componentes que compõem o sistema, como a espécie de peixes, qualidade da ração, manejo nutricional e alimentar, qualidade da água, tipo de hidroponia utilizada, os tipos de filtros biológicos e tanques de decantação, os tipos de vegetais produzidos e a relação m^2 de hidroponia/ m^3 de tanque de peixes (GODDEK *et al.*, 2016; JUNGE *et al.*, 2017; TYSON *et al.*, 2008; YILDIZ *et al.*, 2017). Podemos considerar que o desempenho produtivo de *Oreochromis niloticus* no sistema de aquaponia estudado, durante os 42 dias de acompanhamento, foi satisfatório, pois, de uma forma geral, os resultados obtidos no presente trabalho estão dentro dos parâmetros esperados para a espécie.

3.2 DESEMPENHO PRODUTIVO DAS HORTALIÇAS

Os dados de desempenho produtivo da alface, referente à massa fresca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, taxa de mortalidade e produtividade (kg/m^2), após os 42 dias de cultivo no sistema aquapônico em estudo são apresentados na Tabela 2.2. Realizada a análise de variância (ANOVA) com os dados de desempenho, apenas a massa fresca da raiz não apresentou diferenças significativas ($p < 0,1$). O melhor desempenho, como pode ser observado na Tabela 2.2, foi no tratamento T4, que corresponde à maior densidade de cultivo de peixes. A média de massa fresca da parte aérea, por exemplo, obtida neste tratamento, foi semelhante à de Crivelenti *et al.* (2009), que obteve 158,3 g de peso médio por alface, e superior às relatadas por Seawright *et al.* (1998) que verificou peso médio fresco de 120 g, em 35 dias, ambos em estudos com sistemas integrando tilápias e alface. Comparando com o cultivo hidropônico convencional, Barbosa *et al.* (2015) reportaram uma média anual de massa úmida para alfaces de 144 g em ciclos de cultivo de 30 dias.

TABELA 2.2 – Desempenho agrônômico das alfaces *Lactuca sativa* L., cultivadas na água residual de piscicultura sob diferentes densidades de estocagem de peixes.

	Tratamento Densidade de estocagem (peixes / m ³)				p
	Relação arraçamento/m ² de cultivo de planta/dia				
	T1 50	T2 100	T3 150	T4 200	
	31,1 g/m ² .dia	60,8 g/m ² .dia	87,1 g/m ² .dia	113,9 g/m ² .dia	
MFPA	27,5 a	50,3 ab	81,9 ab	151,7 b	0,079
MFR ^{ns}	13,9	15,2	16,0	25,3	0,177
MSPA	2,4 a	3,6 ab	5,5 ab	8,5 b	0,054
MSR	0,9 a	1,2 ab	1,3 ab	1,7 b	0,098
%MORT	46,9 a	28,1 ab	8,3 b	8,3 b	0,052
PROD	0,44 a	0,80 ab	1,31 ab	2,43 b	0,098

MFPA – matéria fresca da parte aérea (g); MFR – matéria fresca da raiz (g); MSPA – matéria seca da parte aérea (g); MSR – matéria seca da raiz (g); %MORT – taxa de mortalidade e PROD – produtividade (kg/m²). Médias seguidas de letras diferentes na linha diferem entre si (p<0,1), pelo teste de Tukey. ^{ns} não significativo, a 0,1 de probabilidade, pelo teste F. Fonte: da autora.

Quanto à produtividade da alface, neste estudo os valores variaram de 0,44 kg/m² no tratamento T1 a 2,43 kg/m² no tratamento T4. As produtividades obtidas nos tratamentos T3 e T4, foram superiores à relatadas por Pinho *et al.* (2017) e Lenz *et al.* (2017), que cultivaram três variedades de alface em sistema aquapônico com bioflocos e obtiveram valores de produtividade média de 1,20 kg/m² da alface crespa em cultivo de 21 dias e de 1,04 kg/m², mas em cultivo de 28 dias, respectivamente.

Lennard e Leonard (2006), por sua vez, ao testar três sistemas de aquaponia (NFT, *Floating* e Substrato), reportaram produtividades em 21 dias de cultivo, notadamente maiores que a deste estudo, de 4,4, 5,0 e 4,1 kg/m², respectivamente. Uma possível causa das diferenças de produtividade encontradas na pesquisa de Lennard e Leonard (2006) pode ser explicada pela maior densidade de cultivo que foi de 20 plantas por m² contra 16 plantas por m² nesta pesquisa. Quanto aos tratamentos T1 e T2 de menor densidade, onde a produtividade foi baixa e a mortalidade alta, vários fatores podem ter influenciado negativamente o crescimento das plantas em geral, dentre eles o valor de pH que, conforme será apresentado no item 3.3 (FIGURA 2.8), ficou acima do limite recomendado, o que é prejudicial ao bom desenvolvimento da alface (TYSON *et al.*, 2004).

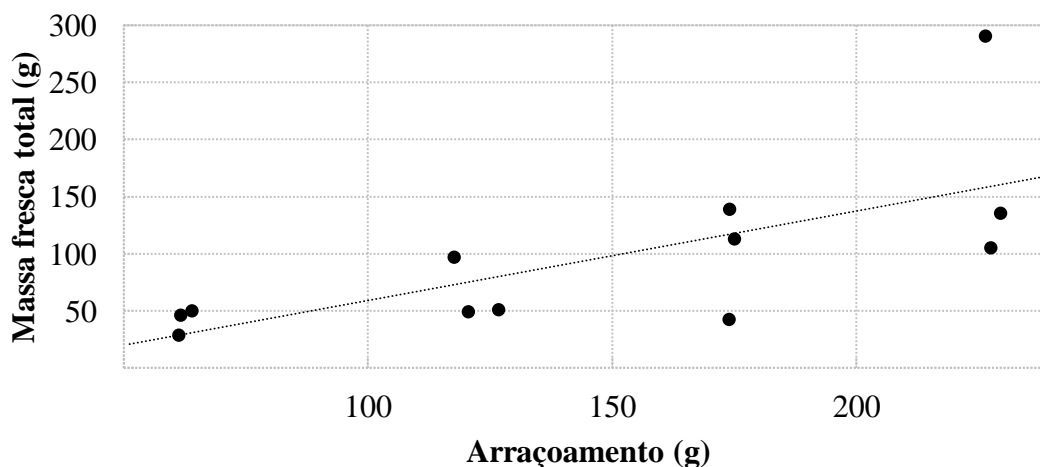
A relação de arraçamento por metro quadrado de cultivo de planta ao dia foi de 31,1 g/m².dia no T1, 60,8 g/m².dia no T2, 87,1 g/m².dia no T3 e 113,9 g/m².dia no T4. De acordo

com Rakocy *et al.* (2006), para hortaliças folhosas como a alface utiliza-se uma relação aproximada de 60 g a 100 g de ração para cada m² de plantas/dia e uma densidade de plantio de 20 a 30 plantas/m² a fim de atingir os níveis mínimos de nutrientes necessários para nutrir a planta. Outros trabalhos mais recentes, porém, já verificaram que esses valores podem ser reduzidos significativamente, utilizando ração na proporção de aproximadamente 25 g/dia/m² para o cultivo de plantas folhosas (EMBRAPA, 2015).

De acordo com esta proporção, portanto, 2 kg de peixes consumindo 1,5% de seu peso vivo ao dia (em torno de 30 g de ração por dia) já seria o necessário para possibilitar o cultivo de vegetais em área de aproximadamente 1 m² de cultura com alface. Lennard (2012), por exemplo, relata bons resultados de qualidade de plantas utilizando uma relação de arraçoamento com 16 g/dia/m² para 25 plantas/m² em um cultivo de tilápias e alfaces, com a suplementação de nutrientes (K, Ca e Fe). Rakocy (2007) afirma ainda que as quantidades de nitrogênio inseridas no sistema pelo arraçoamento devem ser superiores às requeridas pelas plantas, a fim de proporcionar uma melhor absorção de outros nutrientes essenciais.

Entretanto, podemos observar que, pelos resultados obtidos neste experimento, apesar da quantidade de ração fornecida ter atendido os valores recomendados, desde o tratamento de menor densidade, bons valores de produtividade só foram obtidos no tratamento T4, de maior densidade, onde a quantidade de ração foi conseqüentemente a maior. Os dados de massa fresca total de alface e a quantidade de ração fornecida mostraram correlação positiva entre essas duas variáveis, indicando que quanto maior o arraçoamento, melhor o desenvolvimento das alfaces (FIGURA 2.5). Rigo (2017) relatam que, com o crescimento dos peixes e, conseqüentemente o aumento da biomassa de peixe no tanque, a tendência é que o crescimento das hortaliças na aquaponia seja semelhante ou até superior ao cultivo na hidroponia.

FIGURA 2.5 – Variação entre a quantidade de ração fornecida aos peixes (arraçoamento em gramas/dia) e a massa fresca total de alface (gramas) obtida ao final do período de cultivo.



Fonte: da autora.

A análise química das hortaliças (TABELA 2.3), utilizada para avaliação do estado nutricional da cultura, mostrou que, com exceção do enxofre, praticamente não houve diferença entre os teores de macronutrientes, encontrados nas plantas, que justifique as diferenças observadas entre as produtividades das hortaliças nos tratamentos. Dentre os macronutrientes verificados, somente o cálcio (Ca) foi absorvido e acumulado em quantidade considerada como adequada para o cultivo hidropônico convencional e em solo da alface, conforme consta na literatura. Nitrogênio (N) ficou próximo do limite inferior da faixa recomendada; potássio (K) não atingiu os valores mínimos; fósforo (P), magnésio (Mg) e enxofre (S) superaram o limite máximo recomendado.

Esses resultados corroboram, em parte, com vários estudos que tem indicado bons resultados no cultivo hidropônico integrado com criação de peixes, ressaltando-se que os peixes, independente da espécie utilizada, são capazes de fornecer quantidades suficientes de quase todos os nutrientes de planta, exceto ferro, potássio e magnésio (CORTEZ *et al.*; 2009; CANI *et al.*, 2013; LENZ *et al.*, 2017). Corroboram em parte, pois, como é possível observar na Tabela 2.3, nesse estudo não houve deficiência com relação à disponibilidade e absorção de magnésio, reforçando assim, as constatações feitas em estudos realizados por Geisenhoff *et al.* (2016), por exemplo, onde a água residual do cultivo das tilápias pôde fornecer nutrientes suficientes para uma produção satisfatória de alface, tornando desnecessária a adição de fertilizantes químicos.

TABELA 2.3 – Teores de macro e micronutrientes na parte aérea das plantas de alface, determinados ao final do período de cultivo no sistema aquapônico e a faixa de valores adequados, conforme a literatura.

TRAT	Densidade cultivo (kg/m ³)	Ração diária (g/m ² /dia)	Macronutrientes (g/kg)						Micronutrientes (mg/kg)				
			N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
T1	8	31,1	25,7 ↓	8,8 ↑	25,2 ↓	21,9	6,2 ↑	7,7 ↑	104,8 ↑	38,7 ↑	488,0 ↑	98,4	220,0 ↑
T2	16	60,8	28,0 ↓	7,7 ↑	29,8 ↓	22,6	6,7 ↑	7,8 ↑	83,5 ↑	27,9 ↑	452,0 ↑	137,4	230,5 ↑
T3	24	87,1	29,1 ↓	7,8 ↑	36,0 ↓	24,6	8,9 ↑	4,7 ↑	83,0 ↑	33,3 ↑	384,0 ↑	288,0 ↑	312,0 ↑
T4	32	113,9	25,5 ↓	7,6 ↑	26,5 ↓	23,1	7,6 ↑	4,3 ↑	70,9 ↑	30,0 ↑	297,3 ↑	389,0 ↑	377,0 ↑
Valores adequados*			30-50	4-7	50-80	15-25	4-6	1,5-2,5	30-60	7-20	50-150	30-150	30-100

* De acordo com RAIJ *et al.* (1996). **ALTO** ↑ – **ADEQUADO** – **BAIXO** ↓

Fonte: da autora.

Embora os teores de enxofre absorvidos pelas plantas tenham apresentado valores acima dos adequados para a alface, em todos os tratamentos, o valor foi visivelmente maior nos tratamentos T1 e T2 (7,7 e 7,8 g/kg) que nos tratamentos T3 e T4 (4,7 e 4,3 g/kg). Não se pode, entretanto, afirmar que essa tenha sido a origem das diferenças observadas no desempenho agrônômico das hortaliças uma vez que, segundo Sandri *et al.* (2006) o excesso desse nutriente, normalmente, não ocasiona qualquer tipo de problema às plantas.

Referente à concentração de nitrogênio, apesar deste ser o nutriente que ocorre em mais alto nível na água residual do sistema, neste estudo, conforme já mencionado, os valores encontrados nas plantas ficaram ligeiramente abaixo da faixa recomendada. Ainda assim, as concentrações encontradas foram superiores às relatadas por Cortez *et al.* (2009) que, aos 40 dias de cultivo, obteve 21,35 g/kg de N para a variedade de alface crespa. O autor, entretanto, relata não ter observado qualquer deficiência em decorrência da menor absorção de N e atribui o fato à diferença de exigência mineral entre as diferentes cultivares de alface.

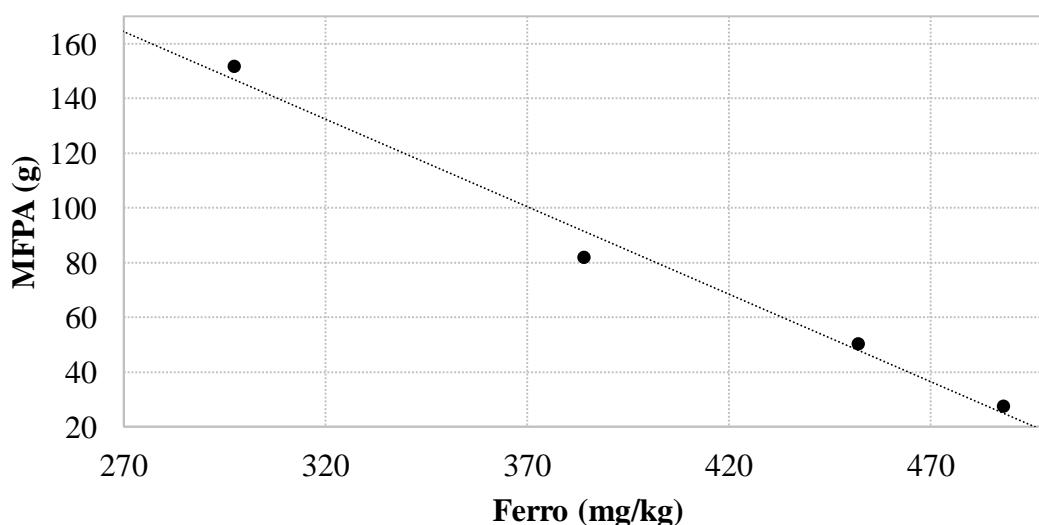
A concentração de potássio acumulada pelas hortaliças também ficou abaixo da faixa recomendada, corroborando com outros estudos que integraram o cultivo hidropônico com a criação de peixes e concluíram que há insuficiência no fornecimento deste nutriente pela água residual do cultivo dos peixes (CORTEZ *et al.*; 2009; CANI *et al.*, 2013; LENZ *et al.*, 2017). Entretanto, conforme já citado, não foi observada relação entre os teores, tanto de potássio quanto de nitrogênio, acumulados nas plantas que justifique as diferenças observadas nas produtividades da alface.

Ramos *et al.* (2013) ressalta ainda que, em geral, as faixas adequadas encontradas na literatura implicam que se as concentrações de nutrientes encontradas estiverem dentro da faixa, considera-se que a cultura esteja bem nutrida no nutriente em questão. Porém, se estiverem abaixo, considera-se que a planta poderá apresentar problemas nutricionais relativos ao mesmo, não implicando, necessariamente, que irão apresentar, uma vez que esses padrões nutricionais podem variar regionalmente por efeitos de diversos fatores tais como clima, solo, tipo de cultivar, época de colheita, dentre outros (FAQUIN, 2002).

Quanto à concentração dos micronutrientes, a Tabela 2.3 também nos mostra que, com exceção do manganês (Mn) nos tratamentos T1 e T2, todos foram absorvidos e acumulados em concentrações acima dos valores considerados adequados. Esses resultados indicam que o sistema em estudo também foi capaz de gerar, por meio dos excrementos dos peixes e sobras de alimento, os níveis mínimos adequados de micronutrientes para o cultivo hidropônico de vegetais corroborando com outros estudos já realizados anteriormente em sistemas aquapônicos, onde os resultados de absorção de micronutrientes pelas plantas foram satisfatórios, constatando-se, em alguns casos, apenas a deficiência de ferro (RAKOCY *et al.*, 2006; SEAWRIGHT *et al.*, 1998).

Neste estudo, porém, o teor de ferro (Fe) encontrado nas plantas (desde 297,3 mg/kg no T4 até 488 mg/kg no T1) foi relevantemente superior à faixa considerada adequada, que seria de 50 a 150 mg/kg. O ferro, embora micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, pode, em determinadas condições, ser absorvido e acumulado em concentrações consideradas tóxicas ao metabolismo vegetal, causando disfunções nutricionais e afetando a fisiologia das plantas (SAHRAWAT, 2004; ADAMSKI *et al.* 2011). De acordo com Jucoski *et al.* (2013), o nível crítico de toxicidade de Fe em plantas, dependendo de vários fatores, varia de 300 a 500 mg/kg. Na Figura 2.6, ao relacionar o teor de ferro acumulado na alface com a massa de matéria fresca da parte aérea obtida, podemos observar que há correlação negativa entre essas duas variáveis onde, quanto maior a concentração de ferro, menor a massa fresca de alface.

FIGURA 2.6 – Variação entre o teor de ferro (mg/kg) acumulado pela alface e a massa fresca da parte aérea da alface – MPFA (gramas) obtida ao final do período de cultivo.



Fonte: da autora.

A relação entre o aumento da concentração de ferro e a redução no crescimento da parte aérea, observada neste trabalho, corrobora com pesquisas de outros autores que verificaram ainda que o aparecimento de lesões necróticas nas folhas também fazem parte da sintomatologia de toxidez do Fe, já observadas em alface, rúcula (LAURETT *et al.* 2017) e em outras espécies, como a batata-inglesa *Solanum tuberosum* (CHATTERJEE *et al.*, 2006), a pitanga *Eugenia uniflora L.* (JUCOSKI *et al.* 2016), a salsa-da-praia *Ipomoea pés-caprae* e o feijão-da-praia *Canavalia rosea* (SIQUEIRA-SILVA *et al.*, 2012).

De uma forma geral, podemos dizer que os valores superiores de absorção de nutrientes, encontrados nesse estudo, se devem, possivelmente, à maior concentração desses elementos na água, conforme indicado pelos níveis de condutividade elétrica, mensurados durante o experimento e que será apresentado adiante no item 3.3 (FIGURA 2.10). Isso porque, geralmente, a absorção de nutrientes em cultivos hidropônicos é proporcional à concentração desses na solução nutritiva que abastece o sistema e fica em contato direto com as raízes, sendo muito influenciada por diversos fatores, tais como temperatura e pH da solução nutritiva, além da temperatura e umidade do ar (ADAMS, 1994).

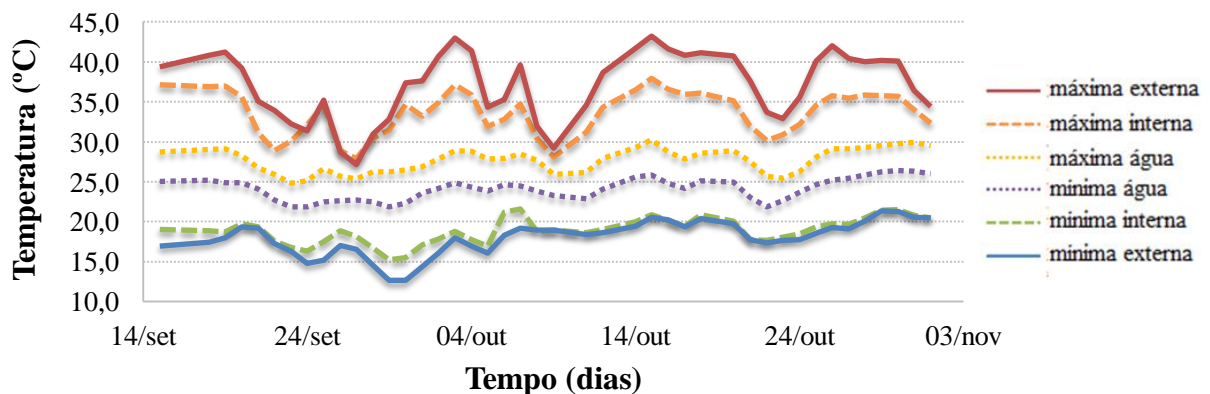
Os resultados de composição química das plantas mostram que a água residual do cultivo de tilápias é capaz de fornecer a solução nutritiva necessária ao desenvolvimento de hortaliças como a alface. Entretanto, os dados de produtividade mostraram que, mesmo com a quantidade de nutrientes necessária, apenas o tratamento T4 apresentou resultados

compatíveis com o esperado numa produção comercial. As plantas dos demais tratamentos, principalmente de menor densidade de cultivo de peixes, não se desenvolveram bem em quantidade e qualidade, indicando que foram fortemente afetadas por fatores ambientais, tais como o pH e a temperatura, conforme será discutido no próximo item.

3.3 QUALIDADE DA ÁGUA

Durante o período de monitoramento do sistema de aquaponia, a temperatura média do ar no ambiente externo foi de 30,9°C, sendo a máxima registrada de 43,3°C e a mínima de 11,8°C. Já dentro da estufa, a temperatura média do ar foi de 30°C chegando à máxima de 38,3°C e mínima de 14,7°C. A temperatura da água se manteve na média de 26,4°C, com máxima de 30,3°C e mínima de 21,5°C (FIGURA 2.7).

FIGURA 2.7 – Temperaturas mínima e máxima do ar nos ambientes externo (mínima e máxima externa) e interno da estufa (mínima e máxima interna) e da água no sistema aquapônico (mínima e máxima água), registradas ao longo do período de experimento.



Fonte: da autora

Ao analisar as temperaturas máximas e mínimas registradas nos ambientes, externo e interno à estufa, podemos observar que a estufa amenizou em média $3,5^{\circ}\text{C} \pm 0,68^{\circ}\text{C}$ (grau de confiança de 95%) da temperatura máxima do ar, o equivalente a uma redução de 9,43%, de forma que a temperatura interna chegou a marcar 6,5°C a menos que a externa. Assim, verifica-se que a presença da estufa foi essencial para obter um maior controle de fatores

ambientais, tais como a temperatura, durante os testes, sem a qual, não seria possível a execução dos trabalhos de forma adequada, nem a obtenção de resultados confiáveis.

A partir do registro de dados da temperatura, foi realizada uma análise de variância (ANOVA *one-way*) onde se verificou diferença altamente significativa ($p < 0.001$) entre as médias de temperaturas máximas e mínimas, indicando que pelo menos duas das médias são diferentes (TABELA 2.4). O teste de Tukey, realizado a seguir (TABELA 2.5), mostrou que a presença da estufa reduziu significativamente a temperatura máxima do ar no ambiente interno à estufa e da água. Com relação à temperatura mínima, não houve diferença significativa entre os ambientes interno e externo à estufa, apenas entre a temperatura da água e as temperaturas do ar (interno e externo à estufa).

TABELA 2.4 – Resultados das análises de variâncias realizadas a partir dos dados de temperaturas mínima e máxima no ambiente externo à estufa, ambiente interno da estufa e na água do sistema aquapônico.

Variável dependente	Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	p
Temperatura máxima	Tratamento	1976.97	2	988.48	72.46	8.067E-22
	Resíduo	1759.84	129	13.64		
	Total	3736.81	131			
Temperatura mínima	Tratamento	970.15	2	485.07	135.8	1.812E-32
	Resíduo	460.78	129	3.57		
	Total	1430.94	131			

Fonte: da autora.

TABELA 2.5 – Teste HSD de Tukey para a diferença entre temperaturas mínima e máxima no ambiente externo à estufa, ambiente interno da estufa e na água do sistema aquapônico.

Ambiente	Média	
	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima
Externo à estufa	$37,1 \pm 1,5^a$	$18,0 \pm 0,7^a$
Interno da estufa	$33,6 \pm 1,0^b$	$18,9 \pm 0,6^a$
Água do sistema	$27,7 \pm 0,5^c$	$24,1 \pm 0,4^b$

Intervalo de confiança de 95%. Médias seguidas da mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Fonte: da autora.

Entretanto, considerando que o intervalo mais indicado de temperatura da água para a aquaponia está entre 18-30°C, em geral (SOMERVILLE *et al.*, 2014), podemos verificar que, mesmo com a presença da estufa, a temperatura média no ambiente interno se manteve muito próximo do limite máximo considerado aceitável para um bom cultivo, chegando ainda a atingir valores muito acima do intervalo indicado, por vários dias. Essa oscilação e picos de temperatura podem afetar negativamente o desenvolvimento de todos os organismos envolvidos no sistema, especialmente as plantas. Segundo Furlani *et al.* (1999), fatores climáticos são preponderantes para a produção de plantas em aquaponia, de forma que a temperatura da água é muito mais importante que a temperatura do ar no ambiente de produção das plantas, sugerindo ainda que esta fique em torno de 18 a 24 °C.

Pela Tabela 2.5, podemos observar ainda que, assim como já mencionado por Santos *et al.* (2010), a maior influência ocorre nas temperaturas máximas, não afetando tanto as temperaturas mínimas e médias. De acordo com Bitencourt (2013), em ambientes como estufas é muito difícil controlar o sistema para que ele se mantenha em um determinado valor de temperatura, de forma que ela sempre irá oscilar durante o tempo. Além disso, as características construtivas da estufa também podem influenciar a temperatura do ar no interior do ambiente protegido conforme a altura do pé direito, o tipo de cobertura, abertura ou não de janelas e cortinas, sentido e incidência dos ventos bem como da radiação solar (SANTOS *et al.*, 2010).

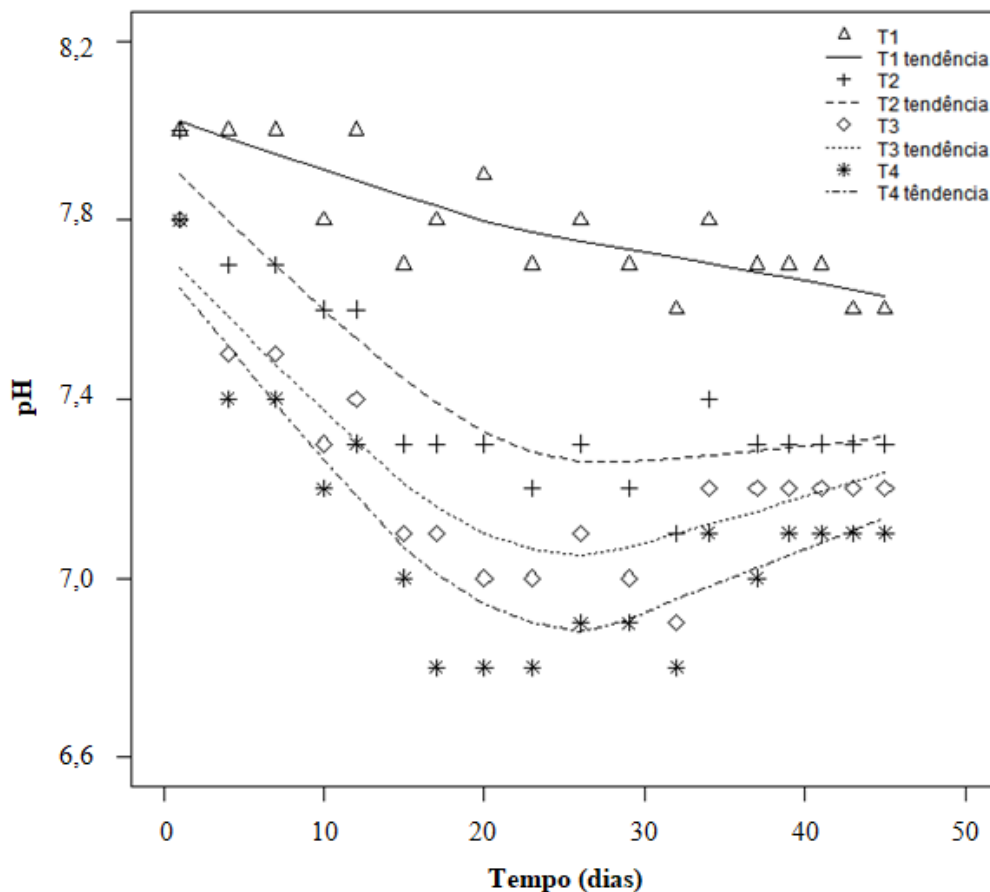
Assim, considerando que a temperatura é, dentre todos os parâmetros, um dos mais importantes, podendo ser um fator limitante da produção ao afetar o desenvolvimento de todos os organismos envolvidos no sistema, este é um ponto que merece atenção por parte dos produtores que desejam investir nessa modalidade de cultivo. No caso desse experimento, as melhorias a serem realizadas na estufa incluem em aumentar a sua altura e instalar sistema de exaustão para melhor circulação do ar e evitar os picos de alta temperatura bem como vedar as laterais para que não haja a queda da temperatura durante a noite.

As concentrações de oxigênio dissolvido no sistema apresentaram máxima de 10,1 mg/L e mínima de 7,1 mg/L, se mantendo em média a 8,44 mg/L, acima, portanto, daquelas normalmente observadas em cultivos aquapônicos (GRABER; JUNGE, 2009; RAKOCY, 2007; ROOSTA; HAMIDPOUR, 2011). Desta forma, durante todo o período de acompanhamento, podemos observar que o nível de oxigênio dissolvido supriu as demandas necessárias para os três principais organismos na aquaponia, cujos níveis ótimos indicados são de 5 a 8 mg/L (SOMERVILLE *et al.* 2014).

Conforme ressaltado por Rakocy *et al.* (2006), a aeração no sistema aquapônico não é uma exigência apenas dos peixes, mas também das bactérias nitrificantes presentes no filtro biológico e das raízes das plantas, de forma que a quantidade de oxigênio dissolvido na água deve ser sempre superior a 4 mg/L e pode ser garantida, segundo Carneiro *et al.* (2015), através da utilização de compressores ou sopradores de ar. No presente sistema em estudo, a concentração de oxigênio da água foi garantida não só pela movimentação da água ao longo do sistema, ao produzir bolhas que incorporaram o oxigênio atmosférico à água, como também pelo uso de compressores de ar, bomba d'água e difusores localizados tanto dentro dos tanques de cultivo dos peixes, quanto nos canteiros de cultivo das hortaliças.

Quanto ao pH da água em circulação no sistema aquapônico, este se apresentou, inicialmente, na faixa de 7,8 - 8,0 em todos os tratamentos. Ao longo do experimento, esse valor foi diminuindo até se estabilizar na faixa de 7,1 – 7,6 (FIGURA 2.8).

FIGURA 2.8 – Valores de pH da água circulante no sistema aquapônico, registrados durante o período de monitoramento.



Fonte: da autora.

Isso porque a água que abastece o sistema é proveniente de poço artesiano com pH levemente alcalino (8,3) e, com o estabelecimento do equilíbrio de um sistema aquapônico, após a colonização do filtro biológico pelas bactérias, crescimento dos peixes, maior quantidade de alimento fornecida e maior quantidade de excrementos, é normal observar contínua tendência de redução dos valores de pH (CARNEIRO *et al.*, 2015). Essa observação é importante, pois indica o bom funcionamento do filtro biológico, uma vez que o processo de nitrificação gera íons H^+ responsáveis por consumir a alcalinidade e abaixar o pH.

A Figura 2.8 também nos permite observar que, assim como nos estudos de Aquino (2006); Tyson *et al.* (2008) e Hundley (2013), os valores de pH registrados nos diferentes tratamentos indicam que a reação da quebra da matéria orgânica é inicialmente ácida. Esta constatação explica o fato do tratamento T4, onde houve a maior densidade de peixes e conseqüentemente a maior carga orgânica, ter apresentado o menor pH, ao passo que nos demais tratamentos, quanto menor foi a carga orgânica, mais alto o valor de pH apresentado. Com os valores de pH registrados nos diferentes tratamentos ao longo do experimento, foi realizada uma ANOVA *one-way* onde se verificou que houve diferença altamente significativa ($p < 0.001$) entre pelo menos duas das médias de pH nos tratamentos (TABELA 2.6).

Assim, a seguir foi realizado o teste de Tukey com as médias de pH, por tratamento, onde podemos observar que o valor de pH registrado no tratamento 1 foi significativamente diferente dos demais (TABELA 2.7). Considerando que o recomendado para sistemas de aquaponia, segundo Tyson *et al.* (2004), é uma faixa de pH entre 6,5 e 7, o qual aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas e melhora suas taxas de absorção, o pH mais alcalino observado no tratamento T1, pode ter sido um dos fatores que afetou negativamente o desenvolvimento das plantas.

TABELA 2.6 – Resultado da ANOVA *one-way* realizada a partir dos dados de pH da água circulante no sistema aquapônico, registrados durante o período de monitoramento.

Variável dependente	Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado Médio	F	p
pH	Tratamento	4,93	3	1,64	34,67	1,035E-13
	Resíduo	3,23	68	0,04		
	Total	8,16	71			

Fonte: da autora.

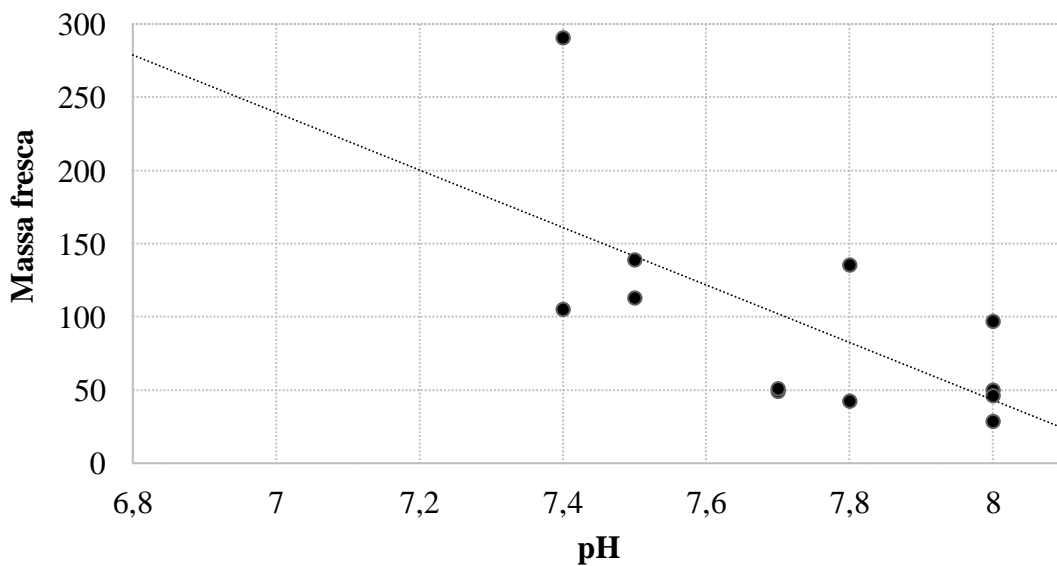
TABELA 2.7 – Teste HSD de Tukey para a diferença de pH entre os tratamentos.

Tratamento	Média de pH
T1	$7,8 \pm 0,06^a$
T2	$7,4 \pm 0,10^b$
T3	$7,2 \pm 0,10^{bc}$
T4	$7,1 \pm 0,12^c$

Intervalo de confiança de 95%. Médias seguidas da mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Fonte: da autora.

Ao relacionar os valores registrados de pH com a massa fresca média de alface obtida ao final do período de cultivo (FIGURA 2.9), observa-se que houve correlação negativa entre essas variáveis onde, quanto maior o pH da água, menor foi a massa fresca de alface obtida. Tyson *et al.* (2004) relata ainda que o pH acima de 7,5 é o ideal para o desenvolvimento de peixes e bactérias, no entanto interfere diretamente na solubilidade e disponibilidade de nutrientes na água para as plantas, o que conseqüentemente afeta a produtividade das hortaliças, como no caso deste estudo.

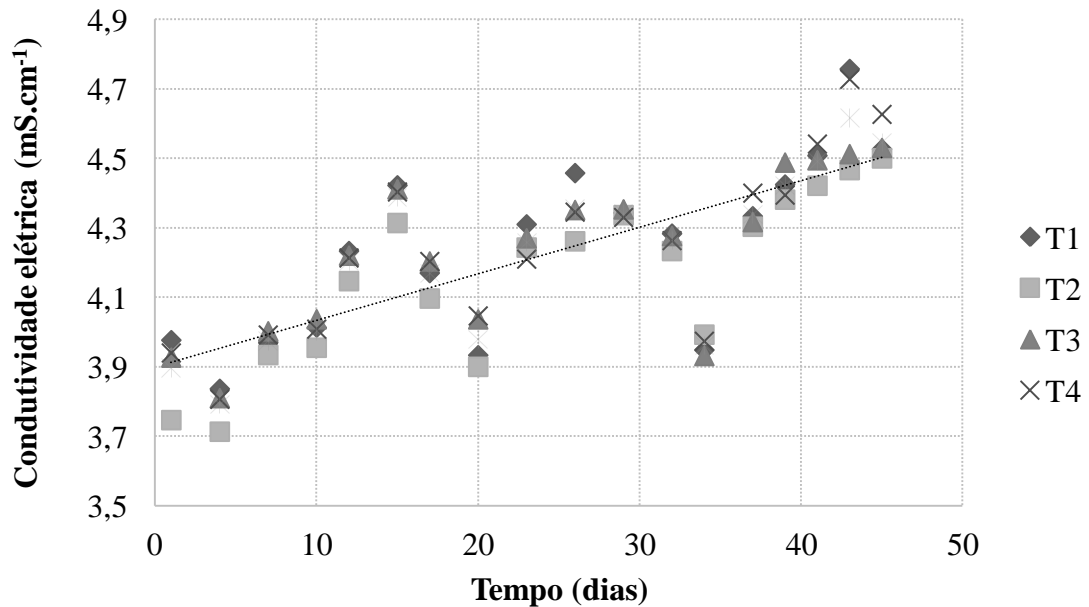
FIGURA 2.9 – Variação entre o pH registrado no sistema aquapônico e a massa fresca média de alface, obtida ao final do experimento.



Fonte: da autora.

A condutividade elétrica, inicialmente, apresentou variações de 3,7 - 4,0 mS.cm⁻¹ em todos os tratamentos. Ao final do experimento, este valor ficou entre 4,5 - 4,6 mS.cm⁻¹. Pela Figura 2.10, podemos observar que a condutividade elétrica se comportou de forma semelhante em todos os tratamentos, com valores crescentes em função do tempo e, considerando que a condutividade mede a presença de íons em solução, afirmar que houve a formação de cátions e ânions ao longo do tempo, provavelmente, devido à formação dos compostos nitrogenados gerados pelos peixes e resíduos da ração no sistema fechado de aquaponia.

FIGURA 2.10 – Condutividade elétrica (mS.cm⁻¹), registrada durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.



Fonte: da autora

Realizada a análise de variância (ANOVA *one way*) com os valores de condutividade elétrica registrada durante o experimento e conforme o tratamento verificou-se que não houve variação significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos ao longo do período de cultivo. Assim, apesar da quantidade de peixes e, conseqüentemente, a quantidade de ração fornecida ter sido diferente entre os tratamentos, não houve diferença significativa nos níveis de condutividade na água, contrariando o previsto na literatura, onde os sistemas com maior densidade de peixes e maior carga orgânica geralmente possuem os maiores níveis de condutividade elétrica (TYSON *et al.* 2008; PANTANELLA, 2010).

Uma possível explicação para a condutividade ter se mantido semelhante nos tratamentos, apesar de a carga orgânica ter sido diferente, é que nos tratamentos de maior densidade, conseqüentemente, há maior quantidade de decomposição de matéria orgânica. Esta reação, assim como o processo de nitrificação, também estimulado pela carga orgânica, diminui o valor de pH, conforme visto anteriormente na Figura 2.8, que, por sua vez, favoreceu a absorção de nutrientes pelas plantas. Estas, ao absorverem os nutrientes, disponíveis em maior quantidade na água, não só apresentaram melhor desenvolvimento, como cumpriram com seu papel de filtro biológico, diminuindo os níveis de condutividade nos tratamentos de maior densidade de peixes e mantendo-os em valores semelhantes aos tratamentos de menor densidade de peixes e aporte de nutrientes.

Utilizada para estimar a quantidade de nutrientes na água, notadamente aqueles que se encontram na forma iônica, a condutividade elétrica é considerada por Carneiro *et al.* (2015) apenas uma estimativa e mais um parâmetro orientador sobre a qualidade da água. Entretanto, de acordo com Martinez (2005), por indicar a concentração da solução nutritiva, trata-se de um parâmetro expressivo para o desenvolvimento e acompanhamento de plantas cultivadas em sistema de hidroponia, afirmando que seu ponto ideal seria entre 2,0 e 4,0 mS/cm⁻¹. Já Castellane e Araújo (1995) relatam ter-se recomendado manter a CE entre 1,5 e 2,5 mS/cm⁻¹ na produção hidropônica de alface (SCHMIDT *et al.*, 2001).

Verifica-se, portanto, que essa informação é ainda controversa na literatura, de forma que Barbieri *et al.* (2010) afirmam em seu estudo não haver uma condutividade elétrica ideal para a solução nutritiva, mas uma faixa de condutividade elétrica adequada, cujos valores variaram de 0,75 a 1,5 mS/cm⁻¹ nas condições de cultivo apresentadas em seu trabalho. Segundo o autor, os valores recomendados até então, para o cultivo da alface em NFT (técnica do filme de nutrientes), por exemplo, são de ordem prática, que carecem de estudo para determinar a faixa ideal para a hidroponia.

Assim, em comparação com os resultados obtidos em diversos estudos (MARTINEZ, 2005; COMETTI *et al.*, 2008; BARBIERI *et al.*, 2010; CARNEIRO *et al.*, 2015) observa-se que no presente estudo houve uma elevada taxa de condutividade elétrica, indicando elevada quantidade de matéria orgânica em decomposição, associadas ao arraçoamento, suas excretas e perdas pelos peixes (BARBOSA, 2011). De acordo com Costa *et al.* (2001) altos níveis de condutividade (4,21 mS/cm⁻¹, ± 0,24) podem levar à diminuição da produção de material seco de alfaces, bem como da produtividade, além de distúrbios fisiológicos das plantas, tais como murcha excessiva nas horas mais quentes do dia e queima das bordas das folhas “tipburn”. Esses distúrbios, entretanto, não foram observados no presente trabalho e, considerando que

este parâmetro se comportou de forma semelhante em todos os tratamentos, não havendo diferenças significativas, não há como inferir que o teor de nutrientes tenha afetado as produtividades alcançadas de alface.

Os valores médios de concentração de amônia, conforme os tratamentos e os diferentes compartimentos do sistema aquapônico, são apresentados na Tabela 2.8. Podemos observar que no tanque de cultivo dos peixes, esses valores variaram de 0,47 mg/L a 2,29 mg/L, sendo que essa concentração foi significativamente maior nos tratamentos de maior densidade (T3 e T4), que nos tratamentos de menor densidade (T1 e T2). Sabe-se que a principal fonte de compostos nitrogenados incorporados à água provém da ração fornecida aos peixes (PEREIRA; MERCANTE, 2005). Assim, nos tratamentos com menor densidade de peixes, observam-se níveis menores de amônia que, sendo um composto resultante do catabolismo das proteínas e o principal produto da excreção dos organismos aquáticos, sua concentração é diretamente proporcional ao aumento da produção, a qual está diretamente relacionada ao aumento da quantidade de alimento fornecido e da densidade de peixes cultivados, conforme afirmam Queiroz e Boeira (2007).

TABELA 2.8 – Variações médias das concentrações de amônia (mg/L), conforme os tratamentos, nos diferentes compartimentos, durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.

	Tratamento Densidade de estocagem (peixes / m ³)				<i>p</i>
	T1 50	T2 100	T3 150	T4 200	
Peixes	0,47 ± 0,07 ^a	0,93 ± 0,18 ^a	1,96 ± 0,46 ^b	2,29 ± 0,33 ^b	8,103E-06
Hortaliças	0,21 ± 0,08 ^a	0,51 ± 0,11 ^a	1,02 ± 0,20 ^b	1,45 ± 0,33 ^c	2,53E-09
<i>Sump</i>	0,27 ± 0,04 ^a	0,49 ± 0,12 ^a	1,08 ± 0,06 ^b	1,58 ± 0,33 ^b	3,487E-05
Resíduo	2,50 ± 0,50 ^a	3,77 ± 0,44 ^{ab}	5,15 ± 1,19 ^{bc}	6,22 ± 1,13 ^c	0,0001

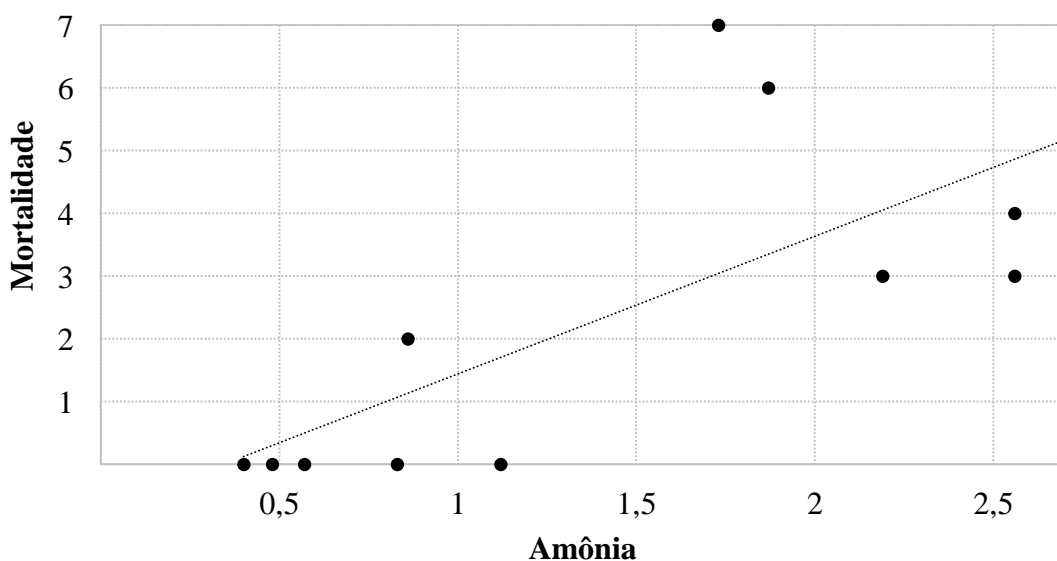
Intervalo de confiança de 95%. Médias seguidas da mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Fonte: da autora.

Podemos observar que os níveis de amônia nos tanques de cultivo de peixes, do tratamento de maior densidade, se mantiveram acima dos considerados ideais. Segundo Boyd e Tucker (1998), os limites máximos de amônia total em viveiros de aquicultura devem estar entre 0,4 e 2,0 mg/L. Kubitzka (1999) relata que valores de amônia não ionizada acima de 0,2 mg/L já são suficientes para induzir toxicidade crônica e levar à diminuição do crescimento e da tolerância dos peixes a doenças. Em concentração elevada, pode inibir o

crescimento dos peixes ao prejudicar a transformação da energia dos alimentos em ATP e impedir a formação de proteínas, elemento essencial no crescimento dos animais (PARKER; DAVIS, 1981 *apud* CAVERO *et al.*, 2004). Conforme os resultados de desempenho zootécnico obtidos nesse estudo, entretanto, apesar dos altos níveis observados de amônia, o crescimento dos peixes nesses tratamentos de maior densidade não foi afetado, uma vez que não houve diferenças significativas entre as variáveis de ganho de peso e taxa de crescimento específico entre os tratamentos.

Com relação à taxa de mortalidade de peixes registrada nesse experimento, apesar de ter sido baixa e aceitável, conforme já discutido anteriormente no item 3.1, a Figura 2.11 nos mostra que tal fato pode estar relacionado à concentração de amônia nos tanques, uma vez que houve correlação positiva entre essas variáveis. Segundo Somerville *et al.* (2014), níveis de amônia entre 0,70 e 2,40 mg/L podem ser letais para os peixes, quando expostos por curto período, uma vez que a intoxicação por este composto pode causar danos ao sistema nervoso central e às brânquias dos peixes, causando malefícios também ao sistema imunológico que podem levar a eventuais mortes. Em concentrações superiores a 3,7 mg/L, pode causar morte por asfixia aos peixes (CONAMA, 2005), ressaltando assim, a importância de um filtro biológico em bom funcionamento nos sistemas que envolvam aquicultura.

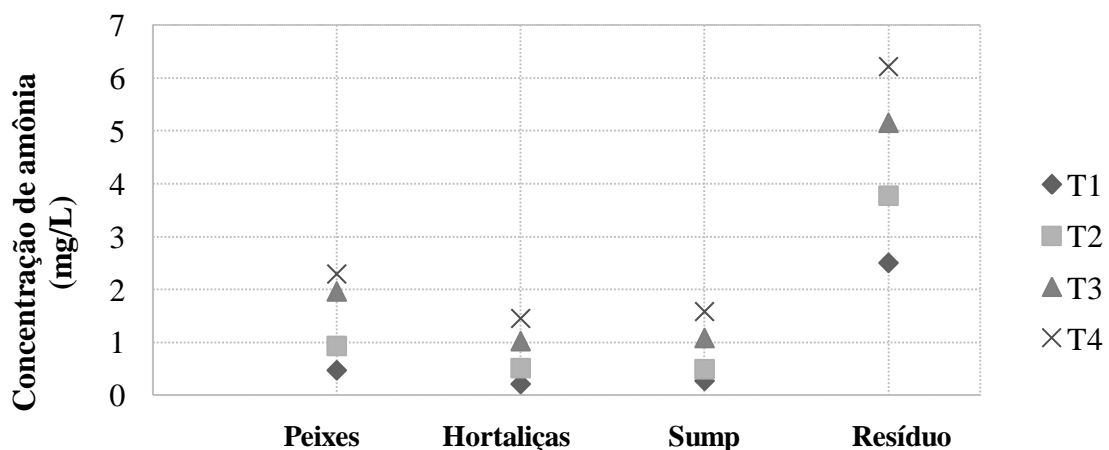
FIGURA 2.11 – Variação entre a concentração de amônia (mg/L) observada no sistema aquapônico e a mortalidade (%) de peixes, registrada ao longo do experimento.



Fonte: da autora.

Na Figura 2.12, referente à concentração dos níveis de amônia (mg/L) na água dos diferentes compartimentos do sistema aquapônico conforme os tratamentos, temos três pontos importantes a observar: (i) a redução dos níveis de amônia do tanque de cultivo dos peixes para o canteiro de cultivo das hortaliças, indicando o bom funcionamento do filtro biológico; (ii) o aumento dos níveis dessa substância, conforme o aumento da densidade de cultivo dos peixes nos tratamentos e consequentemente o aporte de nutrientes em virtude da maior quantidade de arraçoamento e excreção, conforme já comentado; (iii) a alta concentração de amônia retida no compartimento que funciona como decantador do sistema, representada pela amostra denominada “resíduo”, indicando o bom funcionamento também desta etapa do processo.

FIGURA 2.12 – Concentração dos níveis de amônia (mg/L) na água dos diferentes compartimentos do sistema aquapônico, conforme o tratamento.



Fonte: da autora.

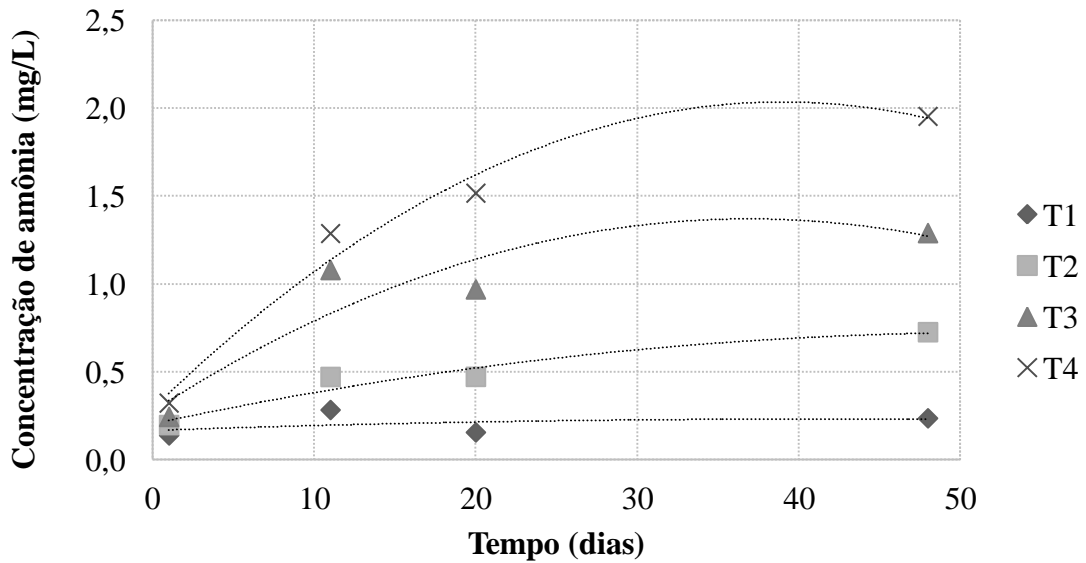
Com relação à redução nos níveis de amônia dos compartimentos de cultivo dos peixes para o canteiro das hortaliças, verifica-se que essa redução foi de 55,32, 45,16, 47,96 e 36,68 %, respectivamente para os tratamentos T1, T2, T3 e T4. Esses valores foram maiores que os relatados por Cani *et al.* (2013) que encontrou redução de 37,36 e 40,23% nos níveis de nitrogênio amoniacal do efluente após passagem pelo sistema hidropônico que integrava o cultivo de tilápias da mesma espécie, com peso inicial de $101,5 \pm 2,9g$, em densidade de estocagem de 100 peixes/m³, com alfaces tipo americana nas densidades de 20 e 40 plantas,

respectivamente. As diferenças observadas neste experimento podem estar relacionadas com a época e período de cultivo bem como a cultivar escolhida, mas ressalta a eficiência do sistema em estudo na remoção de nutrientes do efluente avaliado.

Diferente de um sistema convencional de aquicultura, onde os compostos nitrogenados do meio são retirados do sistema por renovação da água nos tanques (escavados, rede etc) (AVNIMELECH, 1998), no sistema aquapônico estudado, são as bactérias nitrificantes, presentes no biofiltro, as responsáveis por transformarem a amônia tóxica, excretada pelos peixes, em nitrito e depois nitrato, que é uma substância absorvida pelas plantas (CARNEIRO *et al.*, 2015; JUNGE *et al.*, 2017). Essa transformação da amônia em nitrato, segundo Belintano *et al.* (2020), é de fundamental importância para a manutenção do sistema de aquaponia e para isto acontecer, é necessário que o filtro biológico esteja trabalhando em excelentes condições (SOMERVILLE *et al.*, 2014). No caso deste trabalho, é possível que o bom funcionamento do biofiltro tenha ocorrido, principalmente, devido à alta oxigenação do sistema e aos valores de pH e temperatura, uma vez que as reações de nitrificação da amônia são mais rápidas em ambientes oxigenados, com pH entre 7,0 a 8,0 e temperaturas de 25°C a 35°C (BOYD; TUCKER, 1998 *apud* QUEIROZ; BOEIRA, 2007), como foram os valores registrados ao longo deste experimento.

Referente ao comportamento da concentração de amônia ao longo do tempo, com exceção do tratamento T1, onde a densidade de peixes foi menor, podemos observar que o teor deste composto no sistema elevou ao longo do tempo, conforme já era o esperado (FIGURA 2.13). Isto se deve aos resíduos gerados pelos peixes provenientes de uma alimentação rica em proteínas, através do fornecimento diário de ração (1,7% da biomassa) e da consequente produção de dejetos, e as sobras da ração fornecida (AVNIMELECH, 1999).

FIGURA 2.13 – Acompanhamento dos níveis de concentração de amônia (mg/L) na água do sistema aquapônico ao longo do tempo, durante o período de experimento.



Fonte: da autora.

O nível médio de nitrito nos tanques de cultivo de peixes e no canteiro das hortaliças do sistema aquapônico manteve-se inferior a 0,5 mg/L ao longo do período experimental e não apresentou diferença significativa ($p>0,05$) em virtude do aumento da densidade de estocagem dos peixes, conforme os tratamentos (TABELA 2.9). Os valores registrados se encontram dentro do proposto por Al-Hafedh *et al.* (2003), onde se reporta que as concentrações de nitrito devem ser mantidas abaixo de 0,5 mg/L para evitar toxicidade nos peixes.

TABELA 2.9 – Variações médias das concentrações de nitrito (mg/L), conforme os tratamentos, nos diferentes compartimentos, durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.

	Tratamento Densidade de estocagem (peixes / m ³)			
	T1 50	T1 50	T1 50	T1 50
Peixes ^{ns}	0,21 ± 0,06	0,29 ± 0,13	0,49 ± 0,36	0,37 ± 0,38
Hortaliças ^{ns}	0,19 ± 0,05	0,23 ± 0,07	0,43 ± 0,24	0,50 ± 0,36
Sump ^{ns}	0,22 ± 0,04	0,24 ± 0,10	0,48 ± 0,38	0,37 ± 0,33
Resíduo	0,59 ± 0,16 ^a	0,46 ± 0,22 ^{ab}	0,32 ± 0,13 ^{ab}	0,27 ± 0,09 ^b

Intervalo de confiança de 95%. ^{ns} - não significativo, a 0,05 de probabilidade, pelo teste F. Fonte: da autora.

Semelhante à amônia, o nitrito em concentrações elevadas é tóxico para os organismos aquáticos e em sistemas fechados com alta densidade de estocagem, pode rapidamente atingir níveis possivelmente letais, acima de 11,65 mg/L (YANBO *et al.*, 2006). Assim, a manutenção do nitrito em concentrações adequadas, conforme verificado neste estudo, é um indicativo que o filtro biológico presente no sistema funcionou adequadamente. Além disso, os bons níveis de concentração de oxigênio dissolvido na água, garantidos neste estudo, também podem ter colaborado com a manutenção dos níveis de nitrito, uma vez que afetam positivamente o processo oxidativo dos compostos nitrogenados pelas bactérias nitrificantes (WONKIEW *et al.*, 2017).

O nitrato se manteve em concentrações semelhantes entre os compartimentos e, assim como o nitrito, não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) em virtude do aumento da densidade de estocagem dos peixes, conforme os tratamentos (TABELA 2.10). No tanque de cultivo dos peixes, o nitrato se manteve entre 94 e 108 mg/L e no canteiro de cultivo da alface, entre 74 e 110 mg/L, atendendo assim ao recomendado por Somerville *et al.* (2014) quanto à manutenção dos níveis de nitrato na faixa de 5-150 mg/L. De acordo com os autores, os peixes podem tolerar níveis de até 300 mg/L de nitrato na água, sendo que algumas espécies suportam até mesmo 400 mg/L. O nitrato, porém, sendo a forma mais acessível de nitrogênio às plantas, quando presente em concentrações acima de 250 mg/L na água, podem acarretar em crescimento excessivo e acumular em excesso nas folhas das plantas, o que é perigoso para a saúde humana, daí a importância de mantê-lo na faixa recomendada (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

TABELA 2.10 – Variações médias das concentrações de nitrato (mg/L), conforme os tratamentos, nos diferentes compartimentos, durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.

	Tratamento Densidade de estocagem (peixes / m ³)			
	T1 50	T1 50	T1 50	T1 50
Peixes ^{ns}	95 ± 24	99 ± 4	108 ± 26	94 ± 29
Hortaliças ^{ns}	74 ± 13	106 ± 20	110 ± 21	108 ± 29
Sump ^{ns}	100 ± 16	92 ± 20	115 ± 34	95 ± 22
Resíduo ^{ns}	73 ± 29	86 ± 13	54 ± 57	78 ± 37

Intervalo de confiança de 95%. ^{ns} - não significativo, a 0,05 de probabilidade, pelo teste F. Fonte: da autora.

Os níveis de nitrato encontrados no sistema, assim como os de nitrito, vêm a reforçar o indicativo de bom funcionamento do filtro biológico, onde podemos concluir que houve a colonização tanto das bactérias *Nitrosomonas* e *Nitrosococcus*, que fazem a nitrozação (oxidam amônia/amônio a nitrito) quanto pelas *Nitrobacter*, que fazem a nitratação (processo em que ocorre a oxidação do nitrito a nitrato). Essa colonização, conforme já citado, é de extrema importância para que um sistema aquapônico possa apresentar seu ciclo de nitrificação em equilíbrio (BELINTANO *et al.*, 2020).

O teor de ortofosfato presente na água dos diferentes compartimentos do sistema se manteve em valores próximos entre si, com discreto aumento na sua concentração conforme o aumento da densidade de peixes (TABELA 2.11). Essa diferença, porém, assim como a condutividade elétrica e os compostos nitrogenados, não foi significativa entre os tratamentos, apesar do aporte de nutrientes, pela quantidade de ração fornecida, ter sido diferente. Como já comentado, esta semelhança nas concentrações destes compostos, pode estar relacionada à maior absorção de nutrientes pelas plantas nos tratamentos de maior densidade, devido ao pH mais favorável.

TABELA 2.11 – Variações médias das concentrações de ortofosfato (mg/L), conforme os tratamentos, nos diferentes compartimentos, durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.

	Densidade de estocagem (peixes / m ³)			
	T1 50	T2 100	T3 150	T4 200
Peixes ^{ns}	12,7 ± 0,8	13,3 ± 1,2	13,7 ± 0,2	14,2 ± 0,8
Hortaliças	10,5 ± 0,9 ^a	11,9 ± 1,0 ^{ab}	12,8 ± 1,1 ^b	12,7 ± 0,9 ^b
Sump ^{ns}	11,3 ± 1,1	11,5 ± 1,6	12,2 ± 1,7	13,4 ± 0,3
Resíduo ^{ns}	11,2 ± 1,0	11,7 ± 0,6	12,0 ± 0,5	11,8 ± 0,7

Intervalo de confiança de 95%. Médias seguidas da mesma letra são semelhantes ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. ^{ns} - não significativo, a 0,05 de probabilidade, pelo teste F. Fonte: da autora.

No tanque de cultivo dos peixes, as concentrações de ortofosfato se mantiveram entre 12,7 mg/L no tratamento T1, 13,3 mg/L no T2, 13,7 mg/L no T3 e 14,2 mg/L no T4. Esses valores se encontram acima dos limites recomendados pela Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, que estabelece concentrações máximas de 0,03 mg/L para águas doces, destinadas à aquicultura. Ainda que considerado um elemento de baixa toxicidade, o aumento das concentrações de fósforo no meio aquático deve ser evitado, pois

favorece o enriquecimento de nutrientes das águas, resultando na floração excessiva de algas e macrófitas que causam danos ao cultivo bem como degradam a qualidade da água (SMITH, 1983; ANDERSON *et al.*, 2002).

Os níveis de ortofosfato nos tanques de produção das hortaliças foram de 10,5 mg/L no tratamento T1, 11,9 mg/L no T2, 12,8 mg/L no T3 e 12,7 mg/L no T4. Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Blum (2018) e superiores aos encontrados por Pinho *et al.* (2017), ambos em cultivos aquapônicos de tilápia e alface. Diversas soluções nutritivas já foram propostas na literatura havendo, em alguns casos, diferenças marcantes entre elas com relação às concentrações dos macronutrientes, enquanto que, para os micronutrientes as diferenças são menores. Segundo Furlani *et al.* (2009), as concentrações recomendadas de fósforo para o cultivo de hortaliças se apresentam desde 12 até 62 mg/L. Podemos, entretanto, considerar que os teores encontrados nesse estudo foram suficientes ao cultivo da alface, uma vez que os níveis deste nutriente, absorvidos pelas plantas, foi superior aos valores esperados, conforme apresentado anteriormente no item 3.2, Tabela 2.3.

Comparando os teores de ortofosfato, encontrados nos tanques de produção das hortaliças com os teores nos tanques de cultivo dos peixes, podemos observar que houve redução na concentração deste nutriente de 17,3 % no T1, 10,5% no T2, 6,6% no T3 e 10,7% no T4. A taxa média de remoção foi menor que a obtida por Cani *et al.* (2013), onde o autor relata que tratamentos com 20 e 40 plantas de alface removeram o ortofosfato em 16,42 e 26,37%, respectivamente, do efluente gerado pelo cultivo de tilápias na densidade de 100 peixes/m³.

Ainda assim, as taxas de remoção encontradas nesse estudo confirmam o potencial de tratamento do efluente gerado pela aquicultura, através da integração com o cultivo de hortaliças, mantendo assim, a água do sistema em condições adequadas para serem reutilizadas pelo cultivo dos peixes. Segundo Castellani *et al.* (2009), pisciculturas intensivas em pequenos tanques, associadas ao cultivo de vegetais em hidroponia, permitiram as plantas a utilizar resíduos contidos no efluente, sendo uma maneira de melhorar a qualidade da água residuária, pela redução do nível de amônia e fosfato dissolvido no efluente.

4 CONCLUSÕES

Considerando as características do sistema de aquaponia em que o estudo foi realizado e as demais condições experimentais, os resultados obtidos neste experimento nos permitem concluir que:

1. A criação de tilápias em até 32 kg/m³ integrada ao sistema hidropônico de alface, com recirculação de água, é viável, sem prejuízo no seu desempenho zootécnico.
2. A água residual do sistema de criação de peixes é capaz de fornecer todos os nutrientes necessários ao cultivo das alfaces.
3. A estufa se mostrou eficiente na redução da temperatura do ar, amenizando a temperatura interna em até 6,5°C a menos que a externa.
4. O pH foi fator determinante na eficiência da assimilação dos nutrientes e do desempenho agrícola das alfaces.
5. A relação de 114 g de ração ao dia por m² de cultivo vegetal determinou o melhor desempenho agrícola das alfaces.
6. A associação entre as bactérias nitrificantes do biofiltro e o cultivo hidropônico de alface se mostraram eficientes para tratar o efluente do sistema de piscicultura intensiva e manter a qualidade da água necessária ao cultivo das tilápias, ao reduzir principalmente, os níveis de amônia, tóxica aos peixes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reutilização dos resíduos, assim como a importante ação das bactérias na biotransformação da amônia tornam sistemas como esses uma alternativa ecologicamente viável de produção de alimentos de maneira menos impactante ao ambiente, reduzindo o consumo de água e solucionando o problema de descarte de efluentes no meio ambiente. Entretanto, dada à complexidade do sistema aquapônico e considerando que o desempenho produtivo dos peixes foi viável, fazem-se necessários mais estudos sobre este tema a fim de se estabelecer uma melhor relação de equilíbrio no sistema que resulte também no pleno desenvolvimento das hortaliças.

REFERÊNCIAS

ADAMS, P. Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponic systems. **Acta Horticulturae**, v. 361, p. 254-257, 1994. Disponível em: <<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.361.23>>. Acesso em: 10 dez 2020.

ADAMSKI, J. M.; PETERS, J. A.; DANIELOSKI, R.; BACARIN, M. A. Excess iron induced changes in the photosynthetic characteristics of sweet potato. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, n. 17, p. 2056- 2062, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jplph.2011.06.003>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

AL-HAFEDH, Y.S.; ALAM, A.; ALAM, M.A. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquacultural Engineering**, v. 29, p. 139-154, 2003. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(03\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(03)00065-7)>. Acesso em: 10 dez 2020.

ANDERSON, D. M., GLIMBERT, P. M., BURKHOLDER, J. M. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. **Estuaries**, v. 25, p. 704–726, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF02804901>. Acesso em: 10 dez 2020.

AQUINO, A. M. de; ASSIS, R.L. de. **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 517 p. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/AgrobCap1ID-Sim092KU5R.pdf>>. Acesso em: 10 dez 2020.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: APHA, 2012.

AVNIMELECH, Y. Minimal discharge from intensive fish ponds. **World Aquaculture**, v. 29, p. 32–37, 1998. Disponível em: <<https://www.sciencebase.gov/catalog/item/5053f620e4b097cd4fcf8507>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

AVNIMELECH, Y. Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. **Aquaculture**, v. 176, p. 227-235, 1999. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00085-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00085-X)>. Acesso em: 28 nov. 2020.

BAILEY, D.S.; RAKOCY, J.E.; MARTIN, J.M.; SHULTZ, R.C. Intensive production of tilapia fingerlings in a recirculating system. *In: Proceeding of the Fifth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Rio de Janeiro, Brazil*. Rio de Janeiro, Brazil: Panorama da Aquicultura Magazine, 2000. p. 328-333. Disponível em: <<https://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista5work/ista5papers/Rakocy%20and%20Bailey/Intensive%20Production%20of%20Tilapia%20Fingerlings.doc>>. Acesso em: 10 dez 2020.

BARBIERI, E.; MELO, D.J.F. de; ANDRADE, L.F.; PEREIRA, E.W.L.; COMETTI, N.N. Condutividade elétrica ideal para o cultivo hidropônico de alface em ambiente tropical. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, p. S303-S308, 2010. Disponível em: <http://www.abhorticultura.com.br/EventosX/Trabalhos/EV_4/A2823_T4177_Comp.pdf>. Acesso em: 10 dez 2020.

BARBOSA, Willem Wily de Paula. **Aproveitamento do efluente da produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) para produção de manjerona (*Origanum majorana*) e manjericão (*Ocimum basilicum*) em sistemas de aquaponia**. 2011. 55 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2011. Disponível em:

<<https://bdtd.ucb.br:8443/jspui/handle/123456789/1617?mode=full>>. Acesso em: 10 dez 2020.

BARBOSA, G.; GADELHA, F.; KUBLIK, N.; PROCTOR, A.; REICHELM, L.; WEISSINGER, E.; WOHLLEB, G.; HALDEN, R. Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, p. 6879-6891, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>>. Acesso em: 10 dez 2020.

BELINTANO, A.L. DE O.; KREUTZ, F.I.; MESSIAS, E.A., IBANHEZ, J.R., FERREIRA, M.W., GUILHERME, D. DE O. Sistema de aquaponia em escada: estudo de caso. **PUBVET**, Maringá, v.14, n.1, a500, p.1-9, Jan., 2020. Disponível em:

<<http://www.pubvet.com.br/artigo/6633/sistema-de-aquaponia-em-escada-um-estudo-de-caso>>. Acesso em: 10 dez 2020.

BITENCOURT, Bárbara Clara Baptista. **Monitoramento e Controle de Estufas Hidropônicas**. 2013. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2013. Disponível em:

<https://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariadeControleeAutomacao/galdenoro1906/galdenoro-tcc-relatorio_final_barbara.pdf>. Acesso em: 10 dez 2020.

BLUM, Marcos Nicolás. **Efeito de diferentes níveis de arraçamento e complementação mineral em sistemas de cultivo aquapônico de tilápia (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*)**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/188093/PAQI0510-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 dez 2020.

BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. **Pond aquaculture water quality management**. Boston: Kluwer, 1998. 700p.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357/2005, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 18 de março de 2005, p. 58-63.

CANI, A.C.P.; AZEVEDO, R.V.D.; PEREIRA, R.N.; OLIVEIRA, M.A.D.; CHAVES, M.A.; BRAGA, L.G.T. Phytodepuration of the effluents in a closed system of fish production. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 2, p. 371-381, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1519-99402013000200012>>. Acesso em: 10 dez 2020.

CARNEIRO, P.C.F.; MORAIS, C.A.R.S.; NUNES, M.U.C.; MARIA, A.N.; FUJIMOTO, R.Y. Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia. Comunicado Técnico 189. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 23 p. Disponível em: <<https://hortelao.com.br/wp-content/uploads/2018/10/33891281.pdf>> Acesso em: 10 dez 2020

CARVALHO, J. E.; ZANELLA, F.; MOTA, J. H.; LIMA, A. L. S. Cobertura morta do solo no cultivo de alface cv. Regina 2000, em Ji-Paraná, RO. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, p.935-939, 2005. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542005000500003>>. Acesso em: 15 mar. 2020.

CASTELLANE, P.D; ARAUJO, J.A.C. **Cultivo sem solo - Hidroponia**. 4ª ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 43 p.

CASTELLANI, D.; CAMARGO, A. F.; ABIMORAD, E. G. Aquaponia: aproveitamento do efluente do berçário secundário do Camarão-da-Amazônia para produção de alface e agrião hidropônicos. **Bioikos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 67-75, 2009. Disponível em: <<http://periodicos.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/bioikos/article/view/660/640>>. Acesso em 15 mar. 2020

CAVERO, B. A. S.; PEREIRA-FILHO, M.; BORDINHON, A. M.; FONSECA, F. A. L. da; ITUASSÚ, D. R.; ROUBACH, R.; ONO, E. A. Tolerância de juvenis de pirarucu ao aumento da concentração de amônia em ambiente confinado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.5, p.513-516, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000500015>>. Acesso em: 10 dez 2020.

CHATTERJEE C.; GOPAL, R.; DUBE, B. K. Impact of iron stress on biomass, yield, metabolism and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 108, p. 1-6, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.01.004>>. Acesso em: 10 dez 2020.

CHOPIN, T. Aquaculture, Integrated Multi-Trophic (IMTA). In: MEYERS R.A. (eds) **Encyclopedia of Sustainability Science and Technology**. New York, Springer, p.542-564, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/269996364_Aquaculture_Integrated_Multi-Trophic_IMTA>. Acesso em: 10 dez 2020.

COELHO, A. A. DA C.; BEZERRA, J. H. C.; SILVA, J. W. A.; MOREIRA, R. T.; ALBUQUERQUE, L. F. G.; FARIAS, W. R. L. Desempenho zootécnico de alevinos de tilápia do Nilo cultivados em um sistema de recirculação de água com a microalga *Spirulina platensis*. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 15, n. 1, p. 149-159, Mar. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402014000100024>>. Acesso em: 10 dez 2020.

COMETTI N.N.; MATIAS G.C.S; ZONTA E.; MARY W.; FERNANDES M.S. Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico-sistema NFT. **Horticultura brasileira**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 262-267, June 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-05362008000200027>>. Acesso em: 10 dez 2020.

CORTEZ, G.E.P.; ARAUJO, J.A.C. de; BELLINGIERI, P.A.; DALRI, A.B. Qualidade química da água residual da criação de peixes para cultivo de alface em hidroponia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 4, p. 494-498, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000400019>>. Acesso em: 10 dez 2020.

COSTA, P.C.; DIDONE, E.B.; SESSO, T.M.; CAÑIZARES, K.A.L.; GOTO, R. Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção de alface em hidroponia. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 595-597, set. 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000300023>>. Acesso em: 10 dez 2020.

CRIVELENTI, L.Z.; BORIN, S.; da SILVA, N.R. Piscicultura superintensiva associada á hidroponia em sistema de recirculação de água. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v.14, n.2, p.109-116, 2009. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/veterinary/article/view/13365/11159>>. Acesso em: 10 dez 2020.

DELAIDE, B.; DELHAYE, G.; DERMIENCE, M.; GOTT, J.; SOYEURT, H.; M. JIJAKLI, M. H. Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. **Aquacultural Engineering** [online] v. 78, Part B, p. 130-139, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.06.002>>. Acesso em: 10 dez 2020.

EL-SAYED, A. F. M. **Tilapia Culture**. Oxfordshire: CABI Publishing, 2006. 293 p. Disponível em: <<https://www.gafrd.org/files/0084/84094/Tilapia%20culture.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Produção Integrada de Peixes e Vegetais em Aquaponia**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Documentos 189). Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142630/1/Doc-189.pdf>> Acesso em: 21 abr. 2020.

ENDUT, A.; JUSOHB A.; ALIB N.; NIKC W. B. W. Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system. **Desalination and Water Treatment**, [s.l.], v. 32, n. 1-3, p. 422-430, 2011. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/222964210.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

FAQUIN, Valdemar. Diagnose do estado nutricional das plantas. 2002. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Especialização em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio) - Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Universidade Federal de Lavras, 2002. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/15097/1/TEXT0%20ACAD%20C3%8AMICO_Diagnose%20do%20Estado%20Nutricional%20das%20Plantas.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture: Sustainability in action**. Roma: [s. n.], 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.4060/ca9229en>>. Acesso em: 16 out. 2020.

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 2 - Solução Nutritiva. **Infobibos - Informações Tecnológicas**, Artigo em Hypertexto, 2009. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/hidroponiap2/index.htm>. Acesso em: 24 nov. 2020.

GEISENHOFF, L.O.; JORDAN, R.A.; SANTOS, R.C.; OLIVEIRA, F.C. DE; GOMES, E.P.. Efeito de diferentes substratos na produção de alface aquapônica associada à criação intensiva

de tilápia com recirculação de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n. 2, p.291-299. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p291-299/2016>>. Acesso em: 16 out. 2020.

GODDEK, S.; SCHMAUTZ, Z.; SCOTT, B.; DELAIDE, B.; KEESMAN, K. J.; WUERTZ, S.; JUNGE, R. The effect of anaerobic and aerobic fish sludge supernatant on hydroponic lettuce. **Agronomy**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 1-12, 2016. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/149227521.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

GOMIERO, L.M.; VILLARES JUNIOR, G.A.; BRAGA, F.M. de S. Relação peso-comprimento e fator de condição de *Oligosarcus hepsetus* (Cuvier, 1829) no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Santa Virgínia, Mata Atlântica, estado de São Paulo, Brasil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 101-105, Mar. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000100009>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

GRABER, A.; JUNGE, R. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. **Desalination**, Amsterdam, v.246, n.1-3, p.147-156, set. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.048>>. Acesso em: 16 out. 2020.

GUALBERTO, R.; RESENDE, F.V.; BRAZ, L.T. Competição de cultivares de alface sob cultivo hidropônico "NFT" em três diferentes espaçamentos. **Horticultura Brasileira**, Recife, v. 17, p. 155-158, 1999. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-05361999000200016>>. Acesso em: 16 out. 2020.

HU, Z.; LEE, J.W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; BROTTTO, A.C.; KHANAL, S. K. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. **Bioresource Technology**, [s. l.], p. 1-7, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.013>>. Acesso em: 16 out. 2020.

HUNDLEY, G. C. **Aquaponia, uma experiência com tilápia (*Oreochromis niloticus*), manjeriço (*Ocimum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de recirculação de água e nutrientes**. 2013. 57 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: <https://bdm.unb.br/bitstream/10483/5977/1/2013_GuilhermeCrispimHundley.pdf>. Acesso em: 16 out. 2020.

JUNGE, R.; KÖNIG, B.; VILLARROEL, M.; KOMIVES, T.; JIJAKLI, M.H. Strategic points in aquaponics. **Water**, [s.l.], v. 9, n. 3, p. 1-9, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/w9030182>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

JUCOSKI, G. O.; CAMBRAIA, J.; RIBEIRO, C.; OLIVEIRA, J. A.; PAULA, S. O.; OLIVA, M. A. Impact of iron toxicity on oxidative metabolism in young *Eugenia uniflora* L. plants. **Acta Physiologiae Plantarum**, [s.l.], v. 35, n. 5, p. 1645-1657, 2013. Disponível: <<https://doi.org/10.1007/s11738-012-1207-4>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

KUBITZA, F. **Nutrição e alimentação dos peixes cultivados**. Volume 1. Campo Grande: Acqua Supre Com. Suprim. Aquicultura Ltda., 1999. 126 p.

LAM, S. S.; MA, N. L.; JUSOH, A.; AMBAK, M. A. Biological nutrient removal by recirculating aquaponic system: Optimization of the dimension ratio between the hydroponic

& rearing tank components. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 102, p. 107 - 115, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.03.012>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

LAURETT, L.; FERNANDES, A.A.; SCHMILDT, E.R.; DE ALMEIDA, C.P.; PINTO, M.L.P.B. Desempenho da alface e da rúcula em diferentes concentrações de ferro na solução nutritiva. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, n. 1, p. 45-52, jan./mar. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4322/rca.2466>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

LE CREN, E.D. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight na condition in the perch (*Perca fluviatilis*). **Journal Animal Ecology**, [s.l.] v.20, p. 201-219, 1951. Disponível em: <doi:10.2307/1540>. Acesso em: 28 nov. 2020.

LEIRA, M.H.; CUNHA, L.T.; BRAZ, M.S.; MELO, C.C.V.; BOTELHO, H.A. REGHIM, L.S. Qualidade da água e seu uso em pisciculturas. **PUBVET**, Maringá, v.11, n.1, p.11-17, Jan. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.22256/pubvet.v11n1.11-17>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

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**, [online] v. 14, p. 539–550, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10499-006-9053-2>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

LENNARD, W.A. **Aquaponic System Design Parameters: Fish to Plant Ratios (Feeding Rate Ratios)**. 2013. 11p. Disponível em: <<http://aquaponic.com.au/Fish%20to%20plant%20ratios.pdf>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

LENZ, G.L.; DURIGON, E.G.; LAPA, K.R.; EMERENCIANO, M.G.C. Produção de alface (*Lactuca sativa*) em efluentes de um cultivo de tilápias mantidas em sistema BFT em baixa salinidade. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 43, n. 4, p. 614-630, 2017. Disponível em: <10.20950/1678-2305.2017v43n4p614>. Acesso em: 28 nov. 2020.

LISBÔA, Sheyla Mayara Feitosa Lisbôa. **Aquaponia superintensiva: tratamento e reuso de água**. 2019. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.

MAEDA, H.; SILVA, P.C.; AGUIAR, M.S.; PADUA, D.M.C.; OLIVEIRA, R.P.C.; MACHADO, N.P.; RODRIGUES, V.; SILVA, R.H. Efeitos da densidade de estocagem na segunda alevinagem de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*), em sistema raceway. **Ciência Animal Brasileira**, [online] v.7, p.265-272, 2006. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/vet/article/view/412>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

MARTINEZ, H.E.P. **Manual prático de hidroponia**. 2º ed. Viçosa: Ed. aprenda fácil, 2005. 271p.

MENDIBURU, F. DE. **agricolae**: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.3-1, 2019. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

- MOYA, E. A. E.; SAHAGÚN, C. A. A.; CARRILLO, J. M. M.; ALPUCHE, P. J. A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, C. A.; MARTÍNEZ-YÁÑEZ R. Herbaceous plants as part of biological filter for aquaponics system. **Aquaculture Research** [online] v. 47, p. 1716-1726, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/are.12626>>. Acesso em: 28 nov. 2020.
- PANTANELLA, E.; CARDARELLI, M.; COLLA, G.; REA, E.; MARCUCCI, A. Aquaponics vs. Hydroponics: Production and Quality of Lettuce Crop. **Acta Horticulturae**, v. 927, p. 887-893, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.927.109>>. Acesso em: 28 nov. 2020.
- PARKER, N.; DAVIS, K. Requirements of warmwater fish. In: The Bioengineering Symposium for Fish Culture, 4., Bethesda. Proceedings. Bethesda: Fish Culture Section of the American Fisheries Society, 1981. p.21-28, 1981.
- PEREIRA, L.P.F.; MERCANTE, C.T.J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 81 - 88, 2005. Disponível em: <https://www.pesca.sp.gov.br/Pereira_31_1.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.
- PINHO, S.M.; MOLINARI, D.; MELLO, G. L.; FITZSIMMONS, K. M.; EMERENCIANO, M. G. C. Effluent from a biofloc technology (BFT) tilapia culture on the aquaponics production of different lettuce varieties. **Ecological Engineering**, v. 103, n. 1, p. 146-153, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.009>>. Acesso em: 28 nov. 2020.
- QUEIROZ, J.F. de; BOEIRA, R.C. Boas Práticas de Manejo (BPMs) para Reduzir o Acúmulo de Amônia em Viveiros de Aquicultura. **Comunicado Técnico 44**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2007. Disponível em: <https://www.cnpma.embrapa.br/download/comunicado_44.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.
- R CORE TEAM 2019. **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/IAC, 1996. 285p.
- RAKOCY, J.E.; MASSER, M.; LOSORDO, T. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. **SRAC Publications**, Stoneville, v.454, p.1-16, 2006. Disponível em: <<http://www2.ca.uky.edu/wkrec/454fs.pdf>>. Acesso em: 28 nov 2020.
- RAKOCY, J.E. Ten guidelines for aquaponic systems. **Aquaponics Journal**, v. 1, p. 14-17, 2007. Disponível em: <<http://santarosa.ifas.ufl.edu/wp-content/uploads/2013/06/Aquaponics-Journal-10-Guidelines.pdf>>. Acesso em: 11 setembro de 2020.
- RAKOCY, J.E., 2012. Aquaponics - Integrating Fish and Plant Culture. In: Tidwell, J.H. **Aquaculture Production Systems**. 1. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, p. 343-386, 2012. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118250105.ch14>>. Acesso em: 11 nov 2020.

RIGO, Cristiano Dalmoro. **Avaliação de desempenho entre substrato e um sistema de aquaponia com tilápias (*Oreochromis niloticus*) para o cultivo de alface (*Lactuca sativa*) e chicória (*Cichorium intybus*)**. 2017. 15 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/178188/TCC%20-%20Cristiano%20Dalmoro%20Rigo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 19 out. 2020.

ROOSTA, H.R.; HAMIDPOUR, M. Effects of foliar application of some macro-and micronutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. **Scientia Horticulturae**, v. 129, n. 3, p. 396-402, 2011. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.006>>. Acesso em: 28 nov 2020.

SALARO, A.L.; CAMPELO, D.A.V.; PONTES, M.D.; MIRANDA, L.T.V.; OLIVEIRA, K.R.B. de; LUZ, R.K. Relação peso/comprimento e fator de condição de juvenis de *Hoplias lacerdae* em duas densidades de estocagem. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca - REPESCA**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 01-10, 2015. Disponível em:

<<https://www.ppg.revistas.uema.br/index.php/REPESCA/article/download/1073/857/3035>>. Acesso em: 28 nov 2020.

SANDRI, D.; MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, R. Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 45-57, Apr. 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000100006>>. Acesso em: 28 nov 2020.

SANTOS, L. L.; SEABRA JÚNIOR, S.; NUNES, M. C. M. Luminosidade, temperatura do ar e do solo em ambientes de cultivo protegido. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v.8, n.1, p.83- 93, 2010. Disponível em:

<http://www.unemat.br/revistas/rcaa/docs/vol8/8_artigo_v8.pdf>. Acesso em: 28 nov 2020.

SCHMIDT, D.; SANTOS, O.S.; BONNECARRÈRE, R.A.G; MARIANI, O.A.; MANFRON, P.A. Desempenho de soluções nutritivas e cultivares de alface em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 122-126, julho 2001. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/pdf/hb/v19n2/v19n2a05.pdf>>. Acesso em: 28 nov 2020.

SEAWRIGHT, D.E.; STICKNEY, R.R.; WALKER, R.B. Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. **Aquaculture**, [s.l.], v. 160, p. 215-237. 1998. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00168-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00168-3)>. Acesso em: 23 nov. 2020.

SIQUEIRA-SILVA, A. I.; SILVA, L.C. da; AZEVEDO, A.A.; OLIVA, M.A. Iron plaque formation and morphoanatomy of roots from species of resting subjected to excess iron. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 78, p. 265-275, 2012. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.11.030>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F.; JORGE, C. Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, p.705-714, 2010. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000700004>>. Acesso em: 19 out. 2020.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Biometry**: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. New York, 3rd Edition, W.H. Freeman and Co., 1995.

SMITH, V.H. Low nitrogen to phosphorus ratios for dominance by blue-green algae in lake phytoplankton. **Science**, v. 221, p. 669-671, 1983. Disponível em: <DOI: 10.1126/science.221.4611.669>. Acesso em: 28 nov. 2020.

SOMERVILLE, C., COHEN, M., PANTANELLA, E., STANKUS, A.; LOVATELLI, A. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. **FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper**, Rome, n. 589. 2014. 262 p. Disponível em: <https://proquest.com/docview/1708921193>. Acesso em: 28 nov. 2020.

TYSON, R.V.; SIMONNE, E.H.; WHITE, J.M.; LAMB, E. M. Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Flórida, v. 117, n. 1, p. 79-83. 2004. Disponível em: <http://fshs.org/proceedings-o/2004-vol-117/079-083.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.

TYSON, R.V.; SIMONNE, E.H.; Treadwell, D.D. Reconciling pH for ammonia biofiltration in a cucumber/tilapia aquaponics system using a perlite medium. **HortScience**, v. 43, n. 3, p. 719-724, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.3.719>. Acesso em: 28 nov. 2020.

VALENTI, W. C. Aquicultura sustentável. In: Congresso de Zootecnia, 12º, Portugal, Vila Real: Associação Portuguesa dos Engenheiros Zootécnicos. Anais...p.111-118, 2002. Disponível em: <https://www.caunesp.unesp.br/Home/publicacoes/cpil_valenti_aquicultura-sustentavel.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.

WONKIEW, S.; POPP, B.N.; KIM, H.J.; KHANAL, S.K. Fate of nitrogen in floating-raft aquaponic systems using natural abundance nitrogen isotopic compositions. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [s.l.], v. 125, p. 24-32, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2017.08.006>. Acesso em: 28 nov. 2020.

YANBO, W.; WENJU, Z.; WEIFEN, L.; ZIRONG, X. Acute toxicity of nitrite on tilapia (*Oreochromis niloticus*) at different external chloride concentrations. **Fish Physiology and Biochemistry**, v.32, n. 49, p.49-54, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10695-005-5744-2>. Acesso em: 28 nov. 2020.

YILDIZ, H. Y.; ROBAINA, L.; PIRHONEN, J.; MENTE, E.; DOMÍNGUEZ, D.; PARISI, G. Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces— A review. **Water**, v. 9, n. 13, p. 1-17, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w9010013>. Acesso em: 28 nov. 2020.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. 5. ed. New Jersey: Pearson, 2010.

CAPÍTULO 3

Remoção de compostos nitrogenados e fosfatados do efluente gerado pelo cultivo intensivo de *Oreochromis niloticus* utilizando produção hidropônica de *Lactuca sativa* L. e introdução de *Landoltia punctata* no sistema de tratamento.

Resumo. Dentre os principais impactos potenciais dos efluentes provenientes das atividades de aquicultura sobre os ecossistemas aquáticos, está a degradação da qualidade da água através do aporte de nutrientes, responsáveis pelo processo de eutrofização, nos ambientes aquáticos. O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência da introdução de *Landoltia punctata* no sistema de tratamento terciário dos módulos de aquaponia com o cultivo de tilápias *Oreochromis niloticus* integrado à produção hidropônica de alfaces *Lactuca sativa* L. O experimento foi conduzido nas instalações do Laboratório de Aquaponia da Symbiotec – Aquicultura e Sistemas Integrados de Produção Ltda. em Piracicaba – SP, seguindo um delineamento inteiramente casualizado com 2 tratamentos (com e sem a introdução de *Landoltia punctata*) e três repetições, totalizando 6 módulos experimentais. O sistema foi abastecido com tilápias nilóticas *Oreochromis niloticus* da linhagem GIFT e mudas de alface *Lactuca sativa* L., do tipo crespa, cultivar Vera. A qualidade da água foi monitorada diariamente quanto à temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica e semanalmente quanto aos níveis de compostos nitrogenados e fosfatados. Os resultados mostraram que o desempenho produtivo de *Oreochromis niloticus* no sistema de aquaponia estudado, não foi afetado pela introdução da macrófita *Landoltia punctata* no sistema de tratamento, provavelmente devido à baixa densidade de peixes utilizada. A produção das alfaces foi insatisfatória em ambos os tratamentos, porém onde houve a introdução da macrófita *Landoltia punctata*, o fato foi agravado possivelmente pela menor disponibilidade de nutrientes às plantas, devido à absorção destes pelas macrófitas. O sistema hidropônico, associado com a introdução das macrófitas *Landoltia punctata* no sistema de tratamento terciário, apresenta capacidade de tratar o efluente dos tanques de cultivo de *Oreochromis niloticus*. Futuros estudos podem ser realizados aumentando-se a densidade de estocagem de peixes e conseqüentemente, a capacidade de produção de alimentos com recirculação de água em pequeno espaço, visando ainda estabelecer uma melhor relação de equilíbrio no sistema que resulte também no pleno desenvolvimento das hortaliças.

Palavras-chave: Aquaponia. Sistema de recirculação aquícola. Hidroponia. *Oreochromis niloticus*. *Lactuca sativa* L. *Landoltia punctata*.

Abstract. Among the main potential impacts of effluents from aquaculture activities on aquatic ecosystems, is the degradation of water quality through the supply of nutrients, responsible for the eutrophication process, in aquatic environments. The objective of this work was to evaluate the influence of the introduction of *Landoltia punctata* in the tertiary treatment system of aquaponics modules with the cultivation of tilapia *Oreochromis niloticus* integrated to the hydroponic production of lettuce *Lactuca sativa* L. The experiment was conducted in the Aquaponics Laboratory facilities of Symbiotec - Aquicultura e Sistemas Integrados de Produção Ltda. in Piracicaba - SP, following a completely randomized design with 2 treatments (with and without the introduction of *Landoltia punctata*) and three repetitions, totaling 6 experimental modules. The system was supplied with Nile tilapia *Oreochromis niloticus* from the GIFT lineage and lettuce seedlings *Lactuca sativa* L., of the curly type. Water quality was monitored daily for temperature, pH, dissolved oxygen and electrical conductivity and weekly for levels of nitrogenous and phosphate compounds. The results showed that the productive performance of *Oreochromis niloticus* in the studied aquaponics system was not affected by the introduction of the macrophyte *Landoltia punctata* in the treatment system, probably due to the low density of fish used. Lettuce production was unsatisfactory in both treatments, but where the macrophyte *Landoltia punctata* was introduced, the fact was possibly aggravated by the lower availability of nutrients to plants, due to their absorption by macrophytes. The hydroponic system, associated with the introduction of the *Landoltia punctata* macrophytes in the tertiary treatment system, has the capacity to treat the effluent from *Oreochromis niloticus* cultivation tanks. Future studies can be carried out by increasing the stocking density of fish and consequently, the food production capacity with water recirculation in a small space, aiming also to establish a better balance relationship in the system that also results in the full development of vegetables.

Keywords: Aquaponics. Recirculation aquaculture system. Hydroponics. *Oreochromis niloticus*. *Lactuca sativa* L. *Landoltia punctata*.

1 INTRODUÇÃO

Toda atividade agropecuária é potencial poluidora e capaz de produzir impacto ao ambiente. Apesar de a piscicultura ser totalmente dependente da utilização de água de boa qualidade, ela também é uma atividade de potencial degradação ambiental. A combinação entre elevadas densidades de estocagem de peixes e altas taxas de arraçoamento degradam a qualidade da água nos viveiros de cultivo, produzindo um ambiente rico em nutrientes e sólidos suspensos, semelhante às cargas orgânicas encontradas nos efluentes provenientes de esgoto doméstico (HU *et al.* 2015).

Sendo a água um dos recursos mais importantes do planeta, vários autores têm discutido a respeito das limitações desse recurso e traçado estimativas preocupantes quanto à disponibilidade de água para a população crescente. Além do crescimento populacional, o modelo de desenvolvimento adotado indica que a demanda de água continuará aumentando exponencialmente com o crescimento econômico (ZANIBONI-FILHO, 2005).

Dentre os principais impactos potenciais dos efluentes provenientes das atividades de aquicultura sobre os ecossistemas aquáticos, está o aumento das concentrações de nitrogênio e fósforo na coluna d'água e o acúmulo de matéria orgânica nos sedimentos. Esse aporte de nutrientes nos ambientes aquáticos tende a favorecer o aumento da comunidade fitoplanctônica que, por sua vez, altera a dinâmica do oxigênio dissolvido e é responsável pelo processo de eutrofização desses ambientes (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2008).

A principal fonte de nitrogênio nos efluentes das atividades de aquicultura é a proteína das rações onde a maior parte é excretada pelos organismos na forma de amônia ou eliminada pelas fezes na forma de nitrogênio orgânico. Informações apresentadas na literatura relatam que somente 25 a 30% do nitrogênio e fósforo fornecido nas dietas alimentares serão aproveitados para a formação da biomassa de peixes, sendo que o restante fica retido no sedimento dos viveiros ou é eliminado pelo efluente (RAKOCY *et al.*, 2006).

Neste sentido, visando diminuir o lançamento de altas cargas orgânicas para o meio externo bem como reaproveitar os nutrientes introduzidos no sistema produtivo, existe a possibilidade de integrar sistemas de aquicultura com a produção de plantas, conhecido como aquaponia. Nesses sistemas integrados, o efluente do cultivo dos peixes gera um nível de nutrientes que se aproxima dos valores encontrados em algumas soluções nutritivas para o cultivo de vegetais (DIVER; RINEHART, 2010; RAKOCY *et al.*, 2006). Adicionalmente ao cultivo de vegetais, há a possibilidade de se introduzir macrófitas aquáticas no sistema de

tratamento terciário dos módulos de aquaponia, a fim de se acelerar as remoções de nutrientes da água e assim possibilitar o aumento das densidades de estocagem de peixes, produzindo uma quantidade maior de alimentos em um menor espaço.

Landoltia punctata é uma macrófita aquática da subfamília *Lemnoideae*, que juntamente com outras espécies dos gêneros *Lemna* e *Wolffia*, pertencentes à mesma subfamília, são conhecidas como lentilha d'água. Devido a características como a capacidade de absorção de nitrogênio e fósforo, a tolerância a ambiente com altas taxas de nutrientes e a rápida proliferação, esta e outras espécies do gênero *Lemna*, têm sido utilizadas eficientemente no tratamento de efluentes (HENRY-SILVA; CAMARGO, 2008).

Essas macrófitas são bastante rústicas e apresentam bom desenvolvimento em ambientes eutrofizados, sendo tolerantes a variações bruscas no pH. De acordo com Ran *et al.* (2004), as plantas da subfamília *Lemnoideae* apresentam excelentes resultados na redução dos níveis de poluentes contidos em águas residuais como nitrogênio amoniacal, íon fosfato, demanda química e bioquímica de oxigênio, sólidos suspensos, coliformes e metais pesados.

O objetivo deste estudo foi avaliar o uso de macrófitas (*Landoltia punctata*) no tratamento terciário de efluentes dos módulos de aquaponia com o cultivo de tilápias *Oreochromis niloticus* integrado à produção hidropônica de alfaces *Lactuca sativa* L, tendo ainda os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar o desempenho produtivo da tilápia (*Oreochromis niloticus*) em função da introdução ou não de *Landoltia punctata* no tratamento terciário do sistema aquapônico;
- Avaliar o desempenho da cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema aquapônico associado com a tilápia (*Oreochromis niloticus*), com e sem a introdução de *Landoltia punctata* no tratamento terciário;
- Avaliar o potencial de remoção de nutrientes do efluente gerado pelo cultivo intensivo de *Oreochromis niloticus* por *Lactuca sativa* L. cultivada em sistema hidropônico e pelo uso de macrófitas aquáticas (*Landoltia punctata*) no tratamento terciário.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido nas instalações do Laboratório de Aquaponia da Symbiotec – Aquicultura e Sistemas Integrados de Produção Ltda., município de Piracicaba – SP, cujas coordenadas geográficas são de 22°42'30''S e 47°38'00''W e, aproximadamente, 576 m de altitude, com relevo suave ondulado, no período de setembro a novembro de 2019. O clima da região, de acordo com Köppen, é do tipo Cwa, tropical de altitude, com temperatura média anual de 21,6°C e precipitação média anual de 1230 mm.

2.2 MONTAGEM DO EXPERIMENTO E MANEJO DO SISTEMA AQUAPÔNICO

Para este experimento, foram utilizados 6 módulos experimentais de aquaponia, construídos dentro da mesma estufa agrícola descrita no Capítulo 2, item 2.1 e no mesmo sistema de funcionamento descrito no Capítulo 2, item 2.2. As macrófitas, *Landoltia punctata*, utilizadas neste experimento, foram introduzidas em três do total de seis módulos experimentais, conforme os respectivos tratamentos, no tanque denominado de tanque de recalque ou *sump*, localizado posteriormente aos canteiros hidropônicos (FIGURA 3.1), participando assim do processo de tratamento terciário, ou seja, da retirada dos nutrientes já mineralizados e realizando o papel de filtro rizosférico. Os outros três módulos também tiveram os tanques *sump*, porém sem a presença da macrófita, de onde a água é bombeada de volta aos tanques de piscicultura, reiniciando assim, seu ciclo de utilização. As macrófitas foram adquiridas com produtores da região e cultivadas no setor de piscicultura da Symbiotec (FIGURA 3.1).

FIGURA 3.1 – A) Tanque de recalque ou *sump* sem a introdução da macrófita - T1. B) Tanque de recalque ou *sump* com a introdução da macrófita *Landoltia punctata* - T2.

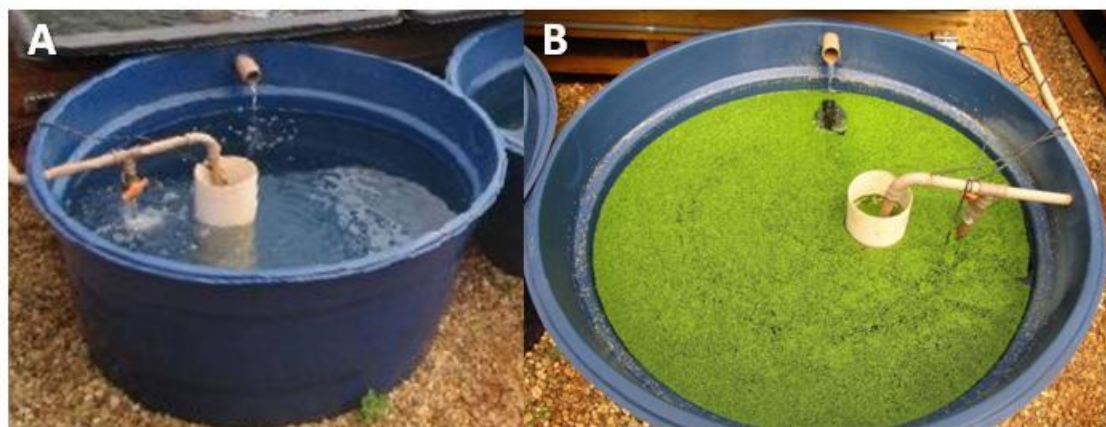


Foto: Thiago Archangelo Freato

Para povoamento das caixas de cultivo dos peixes, foram utilizados 150 indivíduos de tilápias nilóticas (*Oreochromis niloticus*) da linhagem GIFT, com peso médio de 127g cada, provenientes da piscicultura “Fazenda Santo Antônio Brumado”, localizada em Mogi Mirim. Antes do início do experimento, elas foram contadas, pesadas, medidas e distribuídas nos tanques de cultivo na densidade de 50 peixes/m³, totalizando 25 peixes em cada tanque. Os peixes foram alimentados três vezes ao dia (8h, 12h e 16h), utilizando ração comercial com 32% PB e granulometria de 4 mm (Laguna Tilapia Crescimento® da Socil), indicada ao hábito alimentar da espécie, a uma taxa de alimentação de aproximadamente 1,7% da biomassa total de cada tanque.

Quinzenalmente, foi realizada a biometria de uma amostra aleatória de 10 peixes por tanque para a avaliação do desempenho zootécnico. O comportamento dos peixes, como movimentação e avidez na busca de alimentos, também foi observado diariamente para um maior controle da eficiência da recirculação na qualidade da água e, conseqüentemente, no bem estar dos peixes, preocupando-se sempre na manutenção de níveis de oxigênio acima de 4,0 mg/L-1 (SOMMERVILLE *et al.*, 2014).

Após cinco dias de adaptação dos peixes nos tanques, 192 mudas de alface *Lactuca sativa*, do tipo crespa, cultivar Vera, provenientes da empresa Sakata, foram transplantadas nas bancadas de cultivo hidropônico (32 mudas em cada). O período para a produção das hortaliças foi de 42 dias, contados a partir do plantio das mudas nas bandejas hidropônicas, período após o qual as plantas foram colhidas.

Os tanques de filtragem do sistema aquapônico foram drenados semanalmente, assim como o lodo presente no fundo dos tanques de filtragem também foi retirado. A matéria orgânica sobrenadante foi retirada com puçás. Para abastecimento do sistema, foi utilizada água de poço artesiano, cujo pH é alcalino (8,3) e as renovações semanais da água perdida no sistema, devido à drenagem dos tanques de filtragem ou evapotranspiração das plantas, foram de aproximadamente 7% do volume total.

2.3 DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DOS PEIXES

Com a finalidade de verificar se houve alguma diferença no desempenho produtivo das tilápias nilóticas, em função da introdução das macrófitas *Landoltia punctata* no tratamento terciário do sistema, foram realizadas biometrias quinzenais onde uma amostra de 10 indivíduos de cada módulo foi pesada e medida quanto ao seu comprimento padrão para, ao final do experimento, poder estimar as variáveis já descritas no Capítulo 2, item 2.4.

2.4 DESEMPENHO PRODUTIVO DAS HORTALIÇAS

Para a avaliação do crescimento das hortaliças, aos 42 dias de cultivo após o transplante das mudas, a fim de avaliar se a presença das macrófitas *Landoltia punctata* no tratamento terciário do sistema interferiu no desempenho produtivo das plantas cultivadas, foram realizadas as análises de fitomassa fresca e seca de uma amostra de cada bancada e da composição de macro e micronutrientes das folhas e raízes de alface, conforme metodologia já descrita no Capítulo 2, item 2.5. Cada amostra do tratamento T1 foi constituída de oito plantas escolhidas aleatoriamente de cada bancada de cultivo, excluindo-se a bordadura. No tratamento T2, a amostra foi constituída da quantidade de plantas sobreviventes ao final do período de cultivo.

2.5 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

O monitoramento da qualidade da água do sistema, para verificar se há alteração em função da introdução das macrófitas *Landoltia punctata* no sistema de tratamento, foi

realizado conforme descrito anteriormente no Capítulo 2, item 2.6. Posteriormente, com esses valores registrados, foram avaliados os decréscimos dos compostos nitrogenados e do ortofosfato na água entre os diferentes compartimentos do sistema aquapônico.

2.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O experimento foi realizado seguindo um delineamento inteiramente casualizado com dois tratamentos, sendo o T1 sem a introdução de macrófitas no sistema e o T2 com a presença das macrófitas *Landoltia punctata* no sistema de filtragem dos módulos. Cada tratamento teve três repetições, totalizando seis módulos experimentais. Cada módulo foi considerado como uma unidade experimental e, o valor médio de cada unidade experimental, foi utilizado para as análises estatísticas.

Os dados referentes à qualidade da água, desempenho das culturas de alface e dos peixes foram analisados pela análise de variância (ANOVA *one-way*), usando o software R (R CORE TEAM, 2019), considerando os pré-requisitos de distribuição normal e homogeneidade de variâncias, analisados pelos testes de Shapiro-Wilk e de Levene, respectivamente (ZAR, 2010). Diferenças significativas entre as médias foram detectadas por meio do teste de Tukey (SOKAL; ROHLF, 1995), utilizando o pacote agricolae (MENDIBURU, 2019). Também foram realizadas análises gráficas para estudar o comportamento dos parâmetros de qualidade de água e da remoção dos compostos nitrogenados e do ortofosfato no sistema.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DESEMPENHO PRODUTIVO DOS PEIXES

No início do experimento, os peixes possuíam peso médio unitário de 127,5 g no tratamento sem *Landoltia punctata* (T1) e 125,8 g no tratamento com *Landoltia punctata* (T2), totalizando uma biomassa média inicial de 3,187 kg e 3,145 kg, respectivamente. Após os 42 dias de cultivo, os peixes atingiram peso médio unitário de 168,2 g no T1 e 166,7 g no T2, computando um ganho em peso de 40,7 e 40,9 g, respectivamente e totalizando uma biomassa média final de 4,205 kg no T1 e 4,166 kg no T2. O comprimento médio padrão dos peixes, ao final do período, foi de 15,5 cm no T1 e 15,9 cm no T2.

A análise de variância – ANOVA, realizada com os dados de desempenho zootécnico dos peixes cultivados no sistema aquapônico, resultou em valores de F não significativos ao nível de 5%, indicando, portanto, que os tratamentos não influenciaram em nenhum dos parâmetros observados. Os dados de desempenho produtivo dos peixes estão apresentados na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 – Desempenho zootécnico das tilápias *Oreochromis niloticus*, cultivadas em sistema de aquaponia, sem a introdução de macrófitas no sistema de tratamento (T1) e com a introdução de macrófitas no sistema de tratamento (T2).

Trat	GP	CP	PM	SOBREV	BIOM	GP BIOM	CONS	CAA	TCE	FC
T1	40,7	15,5	168,2	100	4,205	1,018	2,614	2,6	0,66	2,5
T2	40,9	15,9	166,7	100	4,166	1,021	2,639	2,7	0,67	2,3

Trat – Tratamento; T1 – sem *Landoltia punctata*; T2 – com *Landoltia punctata*; GP – Ganho de peso (g); CP – Comprimento padrão (cm); PM – peso médio (g); SOBREV – Sobrevivência (%); BIOM – Biomassa acumulada ao final do ciclo (kg); GP BIOM – Ganho de peso em biomassa total (kg); CONS – Consumo total no período (kg); CAA – Conversão alimentar aparente; TCE – Taxa de crescimento específico (%/dia); FC – Fator de condição alométrico. Fonte: da autora.

Nenhuma mortalidade foi registrada durante todo o período de cultivo, fato este que parece ser resultado da baixa densidade de cultivo utilizada neste experimento, boa qualidade da água, bom funcionamento em geral do sistema aquapônico, além da rusticidade já conhecida da espécie *Oreochromis niloticus* (RAKOCY, 2012). Índices de sobrevivência superiores a 95% também foram encontrados por outros autores em trabalhos que envolvem

aquaponia, sistema de recirculação e cultivos com tilápia (EL-SAYED, 2006; ENDUT *et al.*, 2011; RAKOCY, 2012; LAM *et al.*, 2015). Além disso, no caso de experimento como este, onde o sistema de produção é protegido pela presença de estufas, a tendência é que a sobrevivência ultrapasse os 95%, uma vez que não há a ação de predadores naturais como pássaros, por exemplo (BELINTANO *et al.*, 2020).

Os valores de conversão alimentar (CAA) de 2,6 e 2,7 foram semelhantes ao registrado por Hu *et al.* (2015) e Lenz *et al.* (2017), porém um pouco acima do esperado para a espécie e superior à reportada em outros trabalhos com aquaponia. Trabalhos de Rakocy *et al.* (2006), Moya *et al.* (2014), Delaide *et al.* (2017), por exemplo, tiveram CAAs entre 1,56 a 1,8, mas em cultivos mais longos que o deste trabalho. No caso da tilápia, alguns autores relatam conversões alimentares que chegam a 1,17 kg de ração para cada quilo de peixe produzido em sistema de recirculação (BAILEY *et al.*, 2000).

Como a conversão alimentar aparente relaciona o consumo de ração e o ganho de peso, quanto pior a conversão alimentar, maior o gasto com ração. Entretanto, segundo Kubitza (1999), a conversão alimentar pode variar de acordo com o sistema de produção, densidade de estocagem, idade e tamanho dos peixes, sendo que as melhores conversões alimentares geralmente se encontram na faixa de 1,4 a 1,8.

O ganho de peso médio diário dos peixes foi de 0,40 g, a taxa de crescimento específico médio foi de 0,66%.dia (T1) e 0,67%.dia (T2). O resultado é semelhante aos obtidos por Crivelenti *et al.* (2009) e está dentro do esperado para a espécie que, de acordo com Somerville *et al.* (2014), pode atingir a massa de 500 g em 6 meses, se mantida dentro da faixa ideal de temperatura, que é de 27-30°C, como foi no caso deste estudo.

Quanto ao fator de condição, os valores ficaram entre 2,3 e 2,5 e são semelhantes aos encontrados por Blum (2018). Sendo um indicativo quantitativo que permite avaliar o bem-estar do peixe (LE CREN, 1951), o fator de condição pode ser utilizado na piscicultura para certificar o adequado manejo produtivo dos peixes (SALARO *et al.* 2015). De acordo com Gomiero *et al.* (2010), este fator deve permanecer constante, independentemente do tamanho que o peixe possa atingir em um determinado período.

A produtividade de peixes no sistema de aquaponia relatada na literatura varia muito e é influenciada pelos diversos componentes que compõem o sistema, como o tipo de hidroponia utilizada, tipo de ração, os tipos de filtros biológicos e tanques de decantação, as espécies de peixes, os tipos de vegetais produzidos e a relação m² de hidroponia/m³ de tanque de peixes (GODDEK *et al.*, 2016; JUNGE *et al.*, 2017; TYSON *et al.*, 2008; YILDIZ *et al.*, 2017). Podemos considerar que o desempenho produtivo de *Oreochromis niloticus* no sistema

de aquaponia estudado, durante os 42 dias de acompanhamento, foi satisfatório, pois, de uma forma geral, os resultados obtidos no presente trabalho estão dentro dos parâmetros esperados para a espécie. Além disso, os resultados nos permitem afirmar que a introdução da *Landoltia punctata* no sistema de tratamento não beneficiou nem prejudicou o desenvolvimento dos peixes nas condições avaliadas neste estudo.

3.2 DESEMPENHO PRODUTIVO DAS HORTALIÇAS

Os dados de desempenho produtivo da alface, referente à massa fresca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, taxa de mortalidade e produtividade (kg/m²), após os 42 dias de cultivo no sistema aquapônico em estudo são apresentados na Tabela 3.2. Realizada a análise de variância com os dados de desempenho, apenas a massa fresca e seca da raiz não apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos.

TABELA 3.2 – Desempenho agrônômico das alfaces *Lactuca sativa* L., cultivadas na água residual de piscicultura com ou sem a introdução de macrófitas no sistema de tratamento.

Trat	MFPA*	MFR ^{ns}	MSPA*	MSR ^{ns}	%MORT*	PROD*
T1	27,5	13,9	2,4	0,9	46,9	0,44
T2	7,3	8,0	0,7	0,7	90,6	0,12
<i>p</i>	0,002	0,139	0,033	0,292	>0,001	0,004

Trat – Tratamento; T1 – sem *Landoltia punctata*; T2 – com *Landoltia punctata*; MFPA – matéria fresca da parte aérea (g); MFR – matéria fresca da raiz (g); MSPA – matéria seca da parte aérea (g); MSR – matéria seca da raiz (g); %MORT – taxa de mortalidade e PROD – produtividade (kg/m²). *Médias na coluna diferem entre si ($p < 0,05$). ^{ns} não significativo, a 0,05 de probabilidade, pelo teste F. Fonte: da autora.

Conforme se verifica na Tabela 3.2, os dados de desempenho produtivo da alface, em ambos os tratamentos, ficaram bem abaixo do esperado para a cultura. Entretanto, no tratamento onde houve a introdução da *Landoltia punctata* (T2), o desenvolvimento da alface foi significativamente menor que no tratamento sem a introdução da macrófita (T1). Enquanto que Lenz *et al.* (2017) relata ter obtido, em um cultivo de 28 dias, peso fresco de 64,54 g na parte aérea da alface e produtividade de 1,29 kg/m² em sistema integrado com tilápias e arraçoamento de 20 g/m².dia, a massa fresca total obtida no presente trabalho foi de 41,4 g no

T1 e 15,3 g no T2, com produtividades de 0,44 e 0,12 kg/m². Comparando com o cultivo hidropônico convencional, Barbosa *et al.* (2015) reportaram uma média anual de massa úmida para alfaces de 144 g em ciclos de cultivo de 30 dias.

Outro indicativo importante e que está diretamente relacionado à produtividade, é a taxa de mortalidade que, neste estudo, foi de quase a metade das mudas semeadas no tratamento T1 e de 90,6% no T2. Vários fatores podem ter influenciado negativamente o crescimento das plantas em geral, dentre eles o valor de pH que, conforme será apresentado no item 3.3 (FIGURA 3.2) ficou acima do limite recomendado, o que é prejudicial ao bom desenvolvimento da alface (TYSON *et al.*, 2004) e, no caso do tratamento T2, onde houve a introdução de *Landoltia punctata*, a competição por nutrientes entre a alface e a macrófita, com notório prejuízo para as alfaces cultivadas neste tratamento.

A relação de arraçamento por metro quadrado de cultivo de planta ao dia foi de 31,1 g/m².dia no T1 e 31,4 g/m².dia no T2, ou seja, praticamente iguais, uma vez que a biomassa de peixes cultivada nos tratamentos foi semelhante. Para hortaliças folhosas como a alface, recomenda-se uma relação aproximada de 60 g de ração para cada m² de plantas/dia e uma densidade de plantio de 20 a 30 plantas/m² a fim de atingir os níveis mínimos de nutrientes necessários para nutrir a planta (RAKOCY *et al.*, 2006). Entretanto, outros trabalhos mais recentes já verificaram que esses valores podem ser reduzidos significativamente, utilizando ração na proporção de aproximadamente 25 g/dia/m² para o cultivo de plantas folhosas (EMBRAPA, 2015).

Desta forma, a proporção utilizada neste experimento, já atenderia o mínimo necessário para possibilitar o cultivo de vegetais nas condições deste estudo. Entretanto, podemos observar que, pelos resultados obtidos neste experimento, apesar da quantidade de ração fornecida ter atendido os valores recomendados, a produtividade de alfaces, mesmo no tratamento sem a introdução de macrófitas, ficou notadamente aquém do esperado, indicando que foram fortemente afetadas por fatores ambientais, tais como o pH, conforme será discutido no próximo item (3.3, FIGURA 3.2).

3.3 QUALIDADE DA ÁGUA E REMOÇÃO DE NUTRIENTES

Considerando que este experimento foi realizado dentro da mesma estufa agrícola descrita no Capítulo 2 e em período concomitante com o outro experimento, reiteram-se os resultados referentes à temperatura, já apresentados anteriormente no item 3.3 do Capítulo 2,

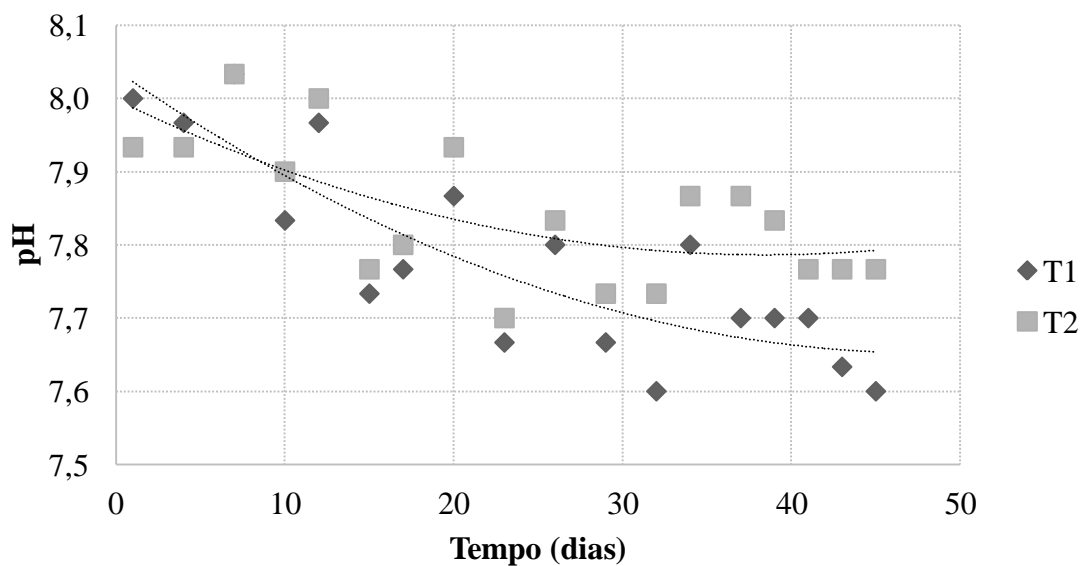
onde se verificou que: a temperatura média no ambiente interno, mesmo com a presença da estufa, se manteve muito próximo do limite máximo considerado aceitável para um bom cultivo na aquaponia, que em geral está entre 18-30°C (SOMERVILLE *et al.*, 2014), chegando ainda a atingir valores muito acima do intervalo indicado, por vários dias. Essa oscilação e picos de temperatura, conforme já discutido no Capítulo 2, podem afetar negativamente o desenvolvimento de todos os organismos envolvidos no sistema, especialmente as plantas, como a alface *Lactuca sativa* L, cujo intervalo ideal de temperatura é entre 15 a 22 °C (Capítulo 2, item 3.3, **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

As concentrações de oxigênio dissolvido no sistema, tanto do tratamento T1 quanto do T2, apresentaram máxima de 10,1 mg/L e mínima de 7,3 mg/L, se mantendo em média a 8,7 mg/L, acima, portanto, daquelas normalmente observadas em cultivos aquapônicos (GRABER; JUNGE, 2009; RAKOCY, 2007; ROOSTA; HAMIDPOUR, 2011) e suficiente para suprir as demandas necessárias da aquaponia, cujos níveis ótimos, indicados por Somerville *et al.* (2014), são de 5 a 8 mg/L.

Conforme ressaltado por Rakocy *et al.* (2006), a aeração no sistema aquapônico não é uma exigência apenas dos peixes, mas também das bactérias nitrificantes presentes no filtro biológico e das raízes das plantas, de forma que a quantidade de oxigênio dissolvido na água deve ser sempre superior a 3 mg/L. No sistema em questão, a concentração de oxigênio da água foi garantida não só pela movimentação da água ao longo do sistema, como também pelo uso de compressores de ar, bomba d'água e difusores localizados tanto dentro dos tanques de cultivo dos peixes, quanto nos canteiros de cultivo das hortaliças.

Quanto ao pH da água em circulação no sistema aquapônico, este apresentou, inicialmente, valores de 8,0 e 7,9 nos tratamentos T1 e T2, respectivamente. Ao longo do experimento, esse valor apresentou variações com leve tendência de queda até chegar em 7,6 no T1 e 7,8 no T2 (FIGURA 3.2).

FIGURA 3.2 – Valores de pH da água circulante no sistema aquapônico, registrados durante o período de monitoramento.



Fonte: da autora.

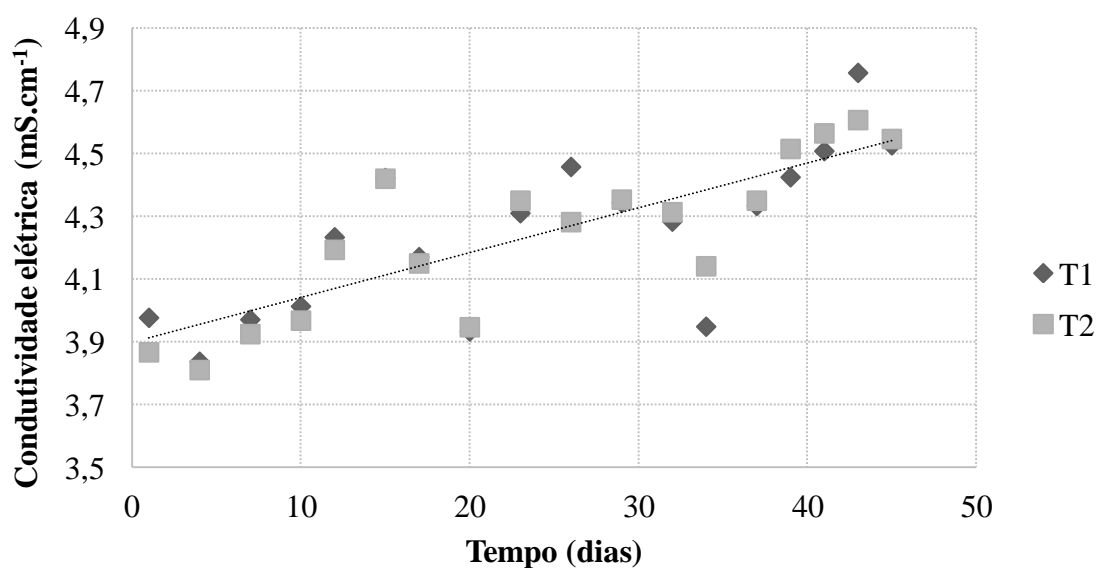
A água que abastece os sistemas é proveniente de poço artesiano com pH alcalino (8,3). Com o estabelecimento do equilíbrio de um sistema aquapônico, após a colonização do filtro biológico pelas bactérias, crescimento dos peixes, maior quantidade de alimento fornecida e maior quantidade de excrementos, é normal observar contínua tendência de redução dos valores de pH (CARNEIRO *et al.*, 2015). Essa observação é importante, pois indica o bom funcionamento do filtro biológico, uma vez que o processo de nitrificação gera íons H^+ responsáveis por consumir a alcalinidade e abaixar o pH.

A Figura 3.2 também nos permite observar que o comportamento do pH foi semelhante nos dois tratamentos. A análise de variância confirmou que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) nos valores de pH entre os tratamentos. Considerando que o recomendado para sistemas de aquaponia, segundo TYSON *et al.* (2004), é uma faixa de pH entre 6,5 e 7, o qual aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas e melhora suas taxas de absorção, o pH mais alcalino observado nos tratamentos, pode ter sido um dos fatores que afetou negativamente o desenvolvimento das plantas. TYSON *et al.* (2004) relata ainda que o pH acima de 7,5 é o ideal para o desenvolvimento de peixes e bactérias, no entanto interfere diretamente na solubilidade e disponibilidade de nutrientes na água para as plantas, o que consequentemente afeta a produtividade das hortaliças, como no caso deste estudo.

A condutividade elétrica, inicialmente, foi de $4,0 \text{ mS.cm}^{-1}$ no T1 e $3,9 \text{ mS.cm}^{-1}$ no T2, ou seja, dentro do ponto ideal sugerido por Martinez (2005) para o desenvolvimento de plantas cultivadas em sistema de hidroponia, que seria entre $2,0$ e $4,0 \text{ mS/cm}^{-1}$. Ao final do experimento, este valor ficou em $4,5 \text{ mS.cm}^{-1}$ nos dois tratamentos, ultrapassando em $0,5 \text{ mS.cm}^{-1}$ a faixa sugerida. Entretanto, a faixa ideal de condutividade elétrica para o cultivo de alface em aquaponia é uma informação ainda controversa na literatura, sendo considerada por alguns autores como apenas uma estimativa e parâmetro orientador de qualidade da água, cujos valores recomendados até então são de ordem prática e ainda carecem de estudos (BARBIERI *et al.*, 2010; CARNEIRO *et al.*, 2015).

Pela Figura 3.3, podemos observar que a condutividade elétrica se comportou de forma semelhante nos tratamentos e apresentou leve aumento em função do tempo, indicando, assim, a formação de cátions e ânions ao longo do tempo, provavelmente, devido à formação dos compostos nitrogenados gerados pelos peixes e resíduos da ração no sistema fechado de aquaponia. Considerando, portanto, que este parâmetro se comportou de forma semelhante nos dois tratamentos, não havendo diferenças significativas, não há como inferir que o teor de nutrientes tenha afetado as diferentes produtividades alcançadas de alface.

FIGURA 3.3 – Condutividade elétrica (mS.cm^{-1}), registrada durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.



Fonte: da autora.

Os valores médios de concentração dos compostos nitrogenados – amônia, nitrito e nitrato – e de ortofosfato, conforme os tratamentos e os diferentes compartimentos do sistema aquapônico, são apresentados na Tabela 3.3.

TABELA 3.3 – Variações médias das concentrações dos compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) e ortofosfato, conforme os tratamentos, nos diferentes compartimentos, durante o período de monitoramento do sistema aquapônico.

	Amônia (mg/L)		Nitrito (mg/L)		Nitrato (mg/L)		Ortofosfato (mg/L)	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Peixes	0,47 ± 0,07	0,50 ± 0,09	0,21 ± 0,06	0,21 ± 0,05	95 ± 24	76 ± 25	12,7 ± 0,8	12,6 ± 0,7
Hortaliças	0,21 ± 0,08	0,30 ± 0,09	0,19 ± 0,05	0,21 ± 0,04	74 ± 13	65 ± 11	10,5 ± 0,9	10,3 ± 1,1
Sump	0,27 ± 0,04	0,32 ± 0,06	0,22 ± 0,04	0,23 ± 0,04	100 ± 16	70 ± 18	11,3 ± 1,1	8,9 ± 5,2
Resíduo	2,50 ± 0,50	2,58 ± 0,26	0,59 ± 0,16	0,53 ± 0,11	73 ± 29	52 ± 21	11,2 ± 1,0	11 ± 1,3

T1 – sem *Landoltia punctata*; T2 – com *Landoltia punctata*. Intervalo de confiança de 95%. Fonte: da autora.

Inicialmente, podemos observar níveis de amônia semelhantes, entre tratamentos, em todos os compartimentos. Isso porque, sendo a ração fornecida aos peixes, a principal fonte de compostos nitrogenados incorporados à água (PEREIRA; MERCANTE, 2005), a concentração de amônia no sistema é diretamente proporcional à quantidade de alimento fornecido, a qual está diretamente relacionada à densidade de peixes cultivados (QUEIROZ; BOEIRA, 2007) e que, no caso deste experimento, foi igual nos dois tratamentos.

Podemos observar ainda que o nível médio de amônia nos tanques de cultivo dos peixes se manteve dentro dos limites máximos considerados ideais à aquicultura que, segundo Boyd e Tucker (1998), devem estar entre 0,4 e 2,0 mg/L para que não cause toxicidade, inibição no crescimento, diminuição da tolerância a doenças ou até mesmo a mortalidade dos peixes (KUBITZA, 1999). De acordo com os resultados de desempenho zootécnico obtidos nesse estudo, verifica-se que os valores de amônia encontrados neste estudo, não acarretaram em prejuízo ao desenvolvimento dos peixes uma vez que, conforme já mencionado, foi dentro do esperado para a espécie.

Com relação à redução nos níveis de amônia dos compartimentos de cultivo dos peixes para o canteiro das hortaliças, verifica-se que essa redução foi de 55,32 e 40%, respectivamente para os tratamentos T1 e T2. Esses valores foram maiores que os relatados por Cani *et al.* (2013) que encontrou redução de 37,36 e 40,23% nos níveis de nitrogênio

amoniaco do efluente após passagem pelo sistema hidropônico que integrava o cultivo de 100 tilápias/m³ com alfaces nas densidades de 20 e 40 plantas, respectivamente.

No caso deste trabalho, essa taxa de redução no nível da amônia, entre compartimentos, conforme explicado no Capítulo 2, é um forte indicativo de bom funcionamento do filtro biológico, uma vez que, diferente de um sistema convencional de aquicultura, onde os compostos nitrogenados do meio são retirados do sistema por renovação da água nos tanques (AVNIMELECH, 1998), no sistema aquapônico estudado, são as bactérias nitrificantes, presentes no biofiltro, as responsáveis por transformarem a amônia tóxica, excretada pelos peixes, em nitrito e depois nitrato, que é uma substância absorvida pelas plantas (CARNEIRO *et al.*, 2015; JUNGE *et al.*, 2017). Essa redução nos níveis de amônia mostra ainda a alta concentração de amônia retida no compartimento que funciona como decantador do sistema, representada pela amostra denominada “resíduo” na Tabela 3.3, indicando o bom funcionamento também desta etapa do processo.

Outro indicativo que o filtro biológico, presente no sistema, funcionou adequadamente são os níveis de nitrito que, nos tanques de cultivo de peixes e no canteiro das hortaliças do sistema aquapônico, mantiveram-se inferiores a 0,5 mg/L. Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos e os valores registrados se encontram dentro do proposto por Al-Hafedh *et al.* (2003), onde se reporta que as concentrações de nitrito devem ser mantidas abaixo de 0,5 mg/L para evitar toxicidade nos peixes.

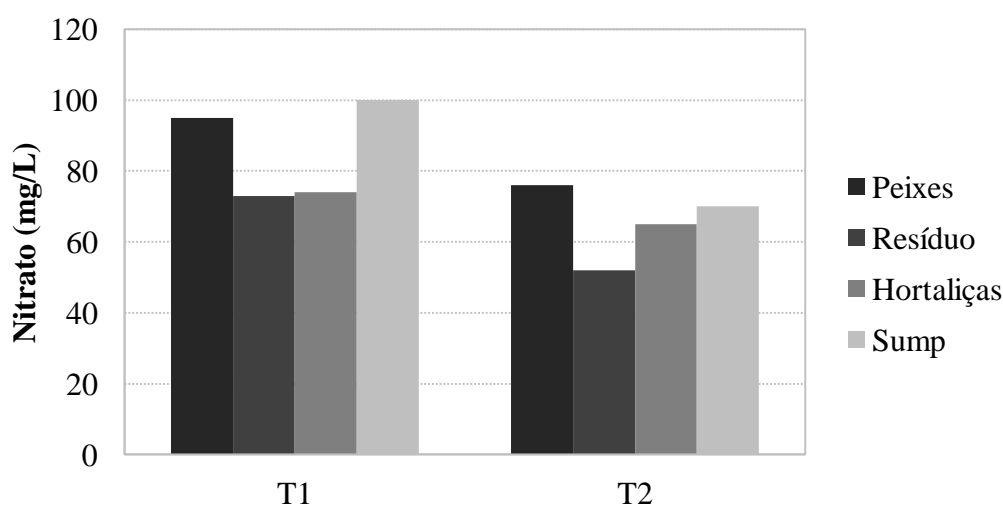
A concentração de nitrato no tanque de cultivo dos peixes foi de 95 mg/L no T1 e 76 mg/L no T2. No canteiro de cultivo da alface, foi de 74 e 65 mg/L em T1 e T2, respectivamente. Os valores atendem ao recomendado por Somerville *et al.* (2014) quanto à manutenção dos níveis de nitrato na faixa de 5-150 mg/L em sistemas aquapônicos, a fim de se evitar o acúmulo em excesso nas folhas das plantas, o que é perigoso à saúde humana (SOMERVILLE *et al.*, 2014).

Desta forma, os níveis de nitrato, assim como dos demais compostos nitrogenados já citados, vêm a reforçar o indicativo de bom funcionamento do filtro biológico, com a colonização por bactérias nitrificantes, organismos de extrema importância para que um sistema aquapônico possa apresentar seu ciclo de nitrificação em equilíbrio (BELINTANO *et al.*, 2020). É provável que o bom funcionamento do biofiltro tenha sido garantido, principalmente, pela alta oxigenação do sistema e aos valores de pH e temperatura, uma vez que o processo oxidativo dos compostos nitrogenados são afetados positivamente em ambientes oxigenados, com pH entre 7,0 a 8,0 e temperaturas de 25°C a 35°C (BOYD;

TUCKER,1998 *apud* QUEIROZ; BOEIRA, 2007), como foram os valores registrados ao longo deste experimento.

Embora as diferenças na concentração de nitrato, registradas entre os tratamentos, não tenham sido significativas ($p>0,05$), é possível observar na Figura 3.4 que os valores encontrados no tratamento T2, em todos os compartimentos do sistema, foram menores que no T1, indicando a maior demanda deste nutriente, que é a forma de nitrogênio mais assimilável pelas plantas, provavelmente, devido ao acréscimo das macrófitas no sistema. Observa-se que a maior diferença foi justamente nas concentrações encontradas no tanque denominado *sump* onde as macrófitas foram introduzidas. O fato também é um indicativo de que a grande mortalidade e baixa produtividade, observada nas alfaces cultivadas no tratamento T2, tenha sido causada também pela menor disponibilidade de nitrato no sistema, possivelmente em decorrência da maior absorção deste nutriente pelas macrófitas, introduzidas neste tratamento.

FIGURA 3.4 – Comparativo das concentrações de nitrato (mg/L), registradas em cada compartimento, entre tratamentos (T1 – sem *Landoltia punctata*; T2 – com *Landoltia punctata*).

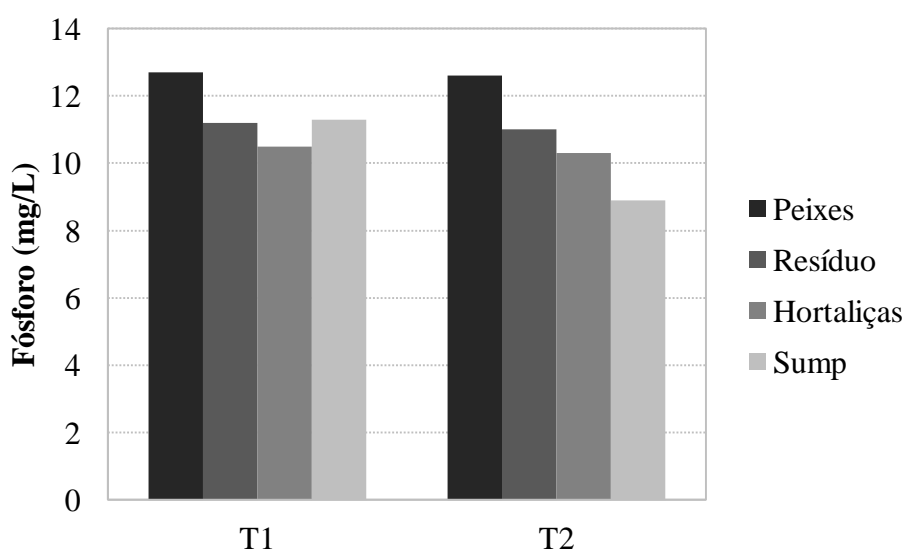


Fonte: da autora.

O mesmo observa-se com os níveis de concentração de ortofosfato (FIGURA 3.5), onde, embora as diferenças registradas entre os tratamentos não tenham sido significativas ($p>0,05$), a maior diferença entre os valores também ocorreu no *sump*. Comparando os teores de ortofosfato, encontrados nos tanques de cultivo dos peixes com os teores nos tanques de

produção das hortaliças, podemos observar que houve redução na concentração deste nutriente de 17,3 % no T1 e 18,3% no T2. Podemos considerar que a taxa média de remoção de ortofosfato pelas hortaliças, encontrada neste estudo, foi próxima à obtida por Cani *et al.* (2013), onde o autor relata que tratamentos com 20 e 40 plantas de alface removeram o ortofosfato em 16,42 e 26,37%, respectivamente, do efluente gerado pelo cultivo de tilápias.

FIGURA 3.5 – Comparativo das concentrações de ortofosfato (mg/L), registradas em cada compartimento, entre tratamentos (T1 – sem *Landoltia punctata*; T2 – com *Landoltia punctata*).



Fonte: da autora.

Dos tanques de cultivo das hortaliças para o *sump*, a concentração de ortofosfato no tratamento T1 foi 7,6% maior no *sump*, enquanto que no T2, onde foram introduzidas as macrófitas, a concentração diminuiu em 13,6%. Avaliando a remoção de ortofosfato no sistema, desde a entrada do nutriente no tanque de cultivo dos peixes, através do arraçoamento, passando pela bancada de cultivo hidropônico e pelo *sump*, onde foram introduzidas as macrófitas no caso do tratamento T2, o total de redução do nutriente foi de 11% no T1 e 29,4% no T2. A remoção foi semelhante à encontrada por Vieira (2013) que ao estudar a eficiência de remoção de nutrientes de efluentes líquidos através de lagoas de lemnas com chicanas, obteve redução de 29,9% para o fosfato, usando *Landoltia punctata*.

Entretanto, ao comparar a remoção de ortofosfato com outras pesquisas que utilizaram lemnas em lagoas de tratamento de efluente doméstico em diferentes condições operacionais e

apontam desde 70% (BARÃO, 2014) até 94,5% (MOHEDANO, 2010) de remoção, conclui-se que a eficiência encontrada no presente trabalho pode ser considerada baixa. Ainda assim, os resultados encontrados nesse estudo ressaltam que, a integração da atividade de piscicultura com o cultivo de hortaliças e a introdução de macrófitas no sistema de tratamento terciário pode ser uma tecnologia simples e eficiente, uma vez que mantém a água do efluente gerado pela aquicultura em condições adequadas para serem reutilizadas pelo cultivo dos peixes. Segundo Castellani *et al.* (2009), pisciculturas intensivas em pequenos tanques, associadas ao cultivo de vegetais em hidroponia, permitiram às plantas a utilizar resíduos contidos no efluente, sendo uma maneira de melhorar a qualidade da água residuária, pela redução do nível de amônia e fosfato dissolvido no efluente.

Considerando ainda a grande capacidade de absorção de nitrato e ortofosfato pela *Landoltia punctata*, futuros estudos podem ser realizados avaliando a introdução desta macrófita em módulos de aquaponia com maiores densidades de estocagem de peixes e conseqüentemente, maior aporte de nutrientes no sistema, aumentando assim a capacidade de produção de alimentos em pequeno espaço.

4 CONCLUSÕES

Considerando as características do sistema de aquaponia em que o estudo foi realizado e as demais condições experimentais, os resultados obtidos neste experimento nos permitem concluir que:

1. O desempenho produtivo de *Oreochromis niloticus* no sistema de aquaponia estudado, não foi afetado pela introdução da macrófita *Landoltia punctata* no sistema de tratamento.
2. A produção das alfaces foi insatisfatória em ambos os tratamentos, negativamente afetada pelo valor de pH da água, acima do limite recomendado ao bom desenvolvimento da alface.
3. O sistema hidropônico associado com a introdução das macrófitas *Landoltia punctata* no sistema de tratamento terciário, utilizado no experimento, mostrou potencial de remoção de amônia e fósforo do efluente dos tanques de cultivo de *Oreochromis niloticus*, fazendo com que suas concentrações se mantenham nos níveis adequados ao cultivo dos peixes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo hidropônico de alfaces associado com a introdução da macrófita *Landoltia punctata* no sistema aquapônico indicou que há capacidade de absorção de nutrientes, responsáveis pela eutrofização e degradação da qualidade da água, de forma que futuros estudos podem ser realizados aumentando-se a densidade de estocagem de peixes e conseqüentemente, a capacidade de produção de alimentos com recirculação de água em pequeno espaço, visando ainda estabelecer uma melhor relação de equilíbrio no sistema que resulte também no pleno desenvolvimento das hortaliças.

REFERÊNCIAS

- AL-HAFEDH, Y.S.; ALAM, A.; ALAM, M.A. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquacultural Engineering**, v. 29, p. 139-154, 2003. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(03\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(03)00065-7)>. Acesso em: 10 dez 2020.
- AVNIMELECH, Y. Minimal discharge from intensive fish ponds. **World Aquaculture**, v. 29, p. 32–37, 1998. Disponível em: <<https://www.sciencebase.gov/catalog/item/5053f620e4b097cd4fcf8507>>. Acesso em: 28 nov. 2020.
- BAILEY, D.S.; RAKOCY, J.E.; MARTIN, J.M.; SHULTZ, R.C. Intensive production of tilapia fingerlings in a recirculating system. *In: Proceeding of the Fifth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, Rio de Janeiro, Brazil*. Rio de Janeiro, Brazil: Panorama da Aquicultura Magazine, 2000. p. 328-333. Disponível em: <<https://ag.arizona.edu/azaqua/ista/ista5work/ista5papers/Rakocy%20and%20Bailey/Intensive%20Production%20of%20Tilapia%20Fingerlings.doc>>. Acesso em: 10 dez 2020.
- BARÃO, Luigi Zanatta. **Avaliação Inicial de Lagoas de Lemnas com Chicanas na Remoção de DQO e Fósforo de Efluentes Domésticos e na Fixação de CO₂**. 2014. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Departamento de Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/124692/TCC%20II%20Luigi%20Zanatta%20Bar%20C3%A3o.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 dez 2020.
- BARBIERI, E.; MELO, D.J.F. de; ANDRADE, L.F.; PEREIRA, E.W.L.; COMETTI, N.N. Condutividade elétrica ideal para o cultivo hidropônico de alface em ambiente tropical. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, p. S303-S308, 2010. Disponível em: <http://www.abhorticultura.com.br/EventosX/Trabalhos/EV_4/A2823_T4177_Comp.pdf>. Acesso em: 10 dez 2020.
- BARBOSA, G.; GADELHA, F.; KUBLIK, N.; PROCTOR, A.; REICHELM, L.; WEISSINGER, E.; WOHLLEB, G.; HALDEN, R. Comparison of land, water, and energy requirements of lettuce grown using hydroponic vs. conventional agricultural methods. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, p. 6879-6891, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ijerph120606879>>. Acesso em: 10 dez 2020.
- BELINTANO, A.L. DE O.; KREUTZ, F.I.; MESSIAS, E.A., IBANHEZ, J.R., FERREIRA, M.W., GUILHERME, D. DE O. Sistema de aquaponia em escada: estudo de caso. **PUBVET**, Maringá, v.14, n.1, a500, p.1-9, Jan., 2020. Disponível em: <<http://www.pubvet.com.br/artigo/6633/sistema-de-aquaponia-em-escada-um-estudo-de-caso>>. Acesso em: 10 dez 2020.

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*)**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/188093/PAQI0510-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>. Acesso em: 10 dez 2020.

BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. **Pond aquaculture water quality management**. Boston: Kluwer, 1998. 700p.

CANI, A.C.P.; AZEVEDO, R.V.D.; PEREIRA, R.N.; OLIVEIRA, M.A.D.; CHAVES, M.A.; BRAGA, L.G.T. Phytodepuration of the effluents in a closed system of fish production. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 2, p. 371-381, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1519-99402013000200012>>. Acesso em: 10 dez 2020.

CARNEIRO, P. C. F.; MARIA, A. N.; NUNES, M. U. C.; FUJIMOTO, R. Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais. *In*: TAVARES-DIAS, M.; MARIANO, W. dos S. (Org.). **Aquicultura no Brasil: novas perspectivas**. São Carlos: Pedro & João Editores, v. 2, 2015. p. 683–706.

CASTELLANI, D.; CAMARGO, A. F.; ABIMORAD, E. G. Aquaponia: aproveitamento do efluente do berçário secundário do Camarão-da-Amazônia para produção de alface e agrião hidropônicos. **Bioikos**, Campinas, v. 23, n. 2, p. 67-75, 2009. Disponível em: <<http://periodicos.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/bioikos/article/view/660/640>>. Acesso em 15 mar. 2020.

CRIVELENTI, L.Z.; BORIN, S.; da SILVA, N.R. Piscicultura superintensiva associada á hidroponia em sistema de recirculação de água. **Archives of Veterinary Science**, Curitiba, v.14, n.2, p.109-116, 2009. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/veterinary/article/view/13365/11159>>. Acesso em: 10 dez 2020.

DELAIDE, B.; DELHAYE, G.; DERMIENCE, M.; GOTT, J.; SOYEURT, H.; M. JIJAKLI, M. H. Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. **Aquacultural Engineering** [online] v. 78, Part B, p. 130-139, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.06.002>>. Acesso em: 10 dez 2020.

DIVER, S.; RINEHART, L. Aquaponics - Integration of Hydroponics with Aquaculture. **ATTRA NCAT**, Butte, p. 1-28, 2010. Disponível em: <<http://www.attra.ncat.org/attra-pub/PDF/aquaponic.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2020.

EL-SAYED, A-FM. **Tilapia Culture**. Oxfordshire: CABI Publishing, 2006. 293 p. Disponível em: <<https://www.gafrd.org/files/0084/84094/Tilapia%20culture.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Produção Integrada de Peixes e Vegetais em Aquaponia**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Documentos 189). Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142630/1/Doc-189.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2020.

- ENDUT, A.; JUSOHB A.; ALIB N.; NIKC W. B. W. Nutrient removal from aquaculture wastewater by vegetable production in aquaponics recirculation system. **Desalination and Water Treatment**, [s.l.], v. 32, n. 1-3, p. 422-430, 2011. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/222964210.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2020.
- GODDEK, S.; SCHMAUTZ, Z.; SCOTT, B.; DELAIDE, B.; KEESMAN, K. J.; WUERTZ, S.; JUNGE, R. The effect of anaerobic and aerobic fish sludge supernatant on hydroponic lettuce. **Agronomy**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 1-12, 2016. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/149227521.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2020.
- GOMIERO, L.M.; VILLARES JUNIOR, G.A.; BRAGA, F.M. de S. Relação peso-comprimento e fator de condição de *Oligosarcus hepsetus* (Cuvier, 1829) no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Santa Virgínia, Mata Atlântica, estado de São Paulo, Brasil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 10, n. 1, p. 101-105, Mar. 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1676-06032010000100009>>. Acesso em: 10 dez. 2020.
- GRABER, A.; JUNGE, R. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. **Desalination**, Amsterdam, v.246, n.1-3, p.147-156, set. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.048>>. Acesso em: 16 out. 2020.
- HENRY-SILVA, G.G.; CAMARGO, A.F.M. Impacto das atividades de aquicultura e sistemas de tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas – Relato de caso. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 163 - 173, 2008. Disponível em: <https://www.pesca.sp.gov.br/34_1_163-173.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- HU, Z.; LEE, J.W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; BROTTTO, A.C.; KHANAL, S. K. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. **Bioresource Technology**, [s. l.], p. 1-7, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.013>>. Acesso em: 16 out. 2020.
- JUNGE, R.; KÖNIG, B.; VILLARROEL, M.; KOMIVES, T.; JIJAKLI, M. H. Strategic points in aquaponics. **Water**, [s.l.], v. 9, n. 3, p. 1-9, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/w9030182>>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- KUBITZA, F. **Nutrição e alimentação dos peixes cultivados**. Volume 1. Campo Grande: Aqua Supre Com. Suprim. Aquicultura Ltda., 1999. 126 p.
- LAM, S. S.; MA, N. L.; JUSOH, A.; AMBAK, M. A. Biological nutrient removal by recirculating aquaponic system: Optimization of the dimension ratio between the hydroponic & rearing tank components. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 102, p. 107 - 115, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.03.012>>. Acesso em: 28 nov. 2020.
- LE CREN, E.D. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight na condition in the perch (*Perca fluviatilis*). **Journal Animal Ecology**, [s.l.] v.20, p. 201-219, 1951. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/1540>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

LENZ, G.L., DURIGON, E.G., LAPA, K.R., EMERENCIANO, M.G.C. Produção de alface (*Lactuca sativa*) em efluentes de um cultivo de tilápias mantidas em sistema BFT em baixa salinidade. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 43, n. 4, p. 614 - 630, 2017.

Disponível em: <<https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n4p614>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

MARTINEZ, H.E.P. **Manual prático de hidroponia**. 2º ed. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2005. 271p.

MENDIBURU, F. DE. **agricolae**: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.3-1, 2019. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>>.

Acesso em: 28 nov. 2020.

MOHEDANO, Rodrigo de Almeida. **Uso de macrófitas lemnáceas (*Landoltia punctata*) no polimento e valorização do efluente de suinocultura e na fixação de carbono**. 2010. 270 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/94053/288895.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

MOYA, E. A. E.; SAHAGÚN, C. A. A.; CARRILLO, J. M. M.; ALPUCHE, P. J. A.; ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, C. A.; MARTÍNEZ-YÁÑEZ R. Herbaceous plants as part of biological filter for aquaponics system. **Aquaculture Research** [online] v. 47, p. 1716-1726, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/are.12626>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

PEREIRA, L.P.F.; MERCANTE, C.T.J. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 81 - 88, 2005. Disponível em: <https://www.pesca.sp.gov.br/Pereira_31_1.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.

QUEIROZ, J.F. de; BOEIRA, R.C. Boas Práticas de Manejo (BPMs) para Reduzir o Acúmulo de Amônia em Viveiros de Aquicultura. **Comunicado Técnico 44**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente. 2007. Disponível em: <https://www.cnpma.embrapa.br/download/comunicado_44.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.

RAN, N., AGAMI, M., ORON, G. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel. **Water Research**, v. 38, n. 9, p. 2241-2248, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.01.043>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 28 nov.2020.

RAKOCY, J.E.; MASSER, M.; LOSORDO, T. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics-integrating fish and plant culture. **SRAC Publication**, v.454, p.1-16, 2006. Disponível em: <http://aquaculture.ca.uky.edu/sites/aquaculture.ca.uky.edu/files/srac_454_recirculating_aquaculture_tank_production_systems_-_aquaponics_-_integrating_fish_and_plant_culture.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2020.

RAKOCY, J.E. Ten guidelines for aquaponic systems. **Aquaponics Journal**, v. 1, p. 14-17, 2007. Disponível em: <<http://santarosa.ifas.ufl.edu/wp-content/uploads/2013/06/Aquaponics-Journal-10-Guidelines.pdf>>. Acesso em: 11 setembro de 2020.

RAKOCY, J.E. Aquaponics - Integrating Fish and Plant Culture. *In*: Tidwell, J.H. 45 (Ed.). **Aquaculture Production Systems**. 1. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, p. 343–386, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/9781118250105.ch14>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

ROOSTA, H.R.; HAMIDPOUR, M. Effects of foliar application of some macro-and micronutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. **Scientia Horticulturae**, v. 129, n. 3, p. 396-402, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.006>>. Acesso em: 28 nov 2020.

SALARO, A.L.; CAMPELO, D.A.V.; PONTES, M.D.; MIRANDA, L.T.V.; OLIVEIRA, K.R.B. de; LUZ, R.K. Relação peso/comprimento e fator de condição de juvenis de *Hoplias lacerdae* em duas densidades de estocagem. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca - REPESCA**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 01-10, 2015. Disponível em: <<https://www.ppg.revistas.uema.br/index.php/REPESCA/article/download/1073/857/3035>>. Acesso em: 28 nov 2020.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. **Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research**. New York, 3rd Edition, W.H. Freeman and Co., 1995.

SOMERVILLE, C., COHEN, M., PANTANELLA, E., STANKUS, A.; LOVATELLI, A. Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. **FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper**, n. 589, p. I, 2014. Disponível em: <<https://proquest.com/docview/1708921193>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

TYSON, R.V.; SIMONNE, E. H.; WHITE, J. M.; LAMB, E. M. Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v. 117, n. 1, p. 79-83. 2004. Disponível em: <<http://fshs.org/proceedings-o/2004-vol-117/079-083.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

TYSON, R.V.; SIMONNE, E.H.; Treadwell, D.D. Reconciling pH for ammonia biofiltration in a cucumber/tilapia aquaponics system using a perlite medium. **HortScience**, v. 43, n. 3, p. 719-724, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.3.719>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

VIEIRA, Brenda. **Remoção de nutrientes de efluentes líquidos através de lagoas de lemnas com chicanas**. 2013. 58 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/30402075.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

YILDIZ, H. Y.; ROBAINA, L.; PIRHONEN, J.; MENTE, E.; DOMÍNGUEZ, D.; PARISI, G. Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces— A review. **Water**, v. 9, n. 13, p. 1-17, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/w9010013>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

ZANIBONI-FILHO, E. Tratamento de efluentes da piscicultura. **Anais do ZOOTEC`2005**, 24 a 27 de maio de 2005 – Campo Grande-MS. Disponível em:
<<http://mail.lapad.ufsc.br/download.php?file=PDF/pdf0014.pdf&nome=lapad-pdf14>>.
Acesso em: 28 nov. 2020.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. 5. ed. New Jersey: Pearson, 2010.