

Hortência Ventura da Silva

**Efeito do estresse hídrico na produção de compostos bioativos de
Sarcocornia ambigua em sistema aquapônico com *Litopenaeus*
*vannamei***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Aquicultura.

Orientador: Walter Quadros Seiffert, Dr.

Florianópolis
2016

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

Hortência, Ventura da Silva

Efeito do estresse hídrico na produção de compostos bioativos de *Sarcocornia ambigua* em sistema aquapônico com *Litopenaeus vannamei* / Ventura da Silva Hortência ; orientador, Walter Quadros Seiffert - Florianópolis, SC, 2016.

59 p.

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

Inclui referências

1. Aquicultura. 2. Aquaponia. 3. *Litopenaeus vannamei*. 4. Fenólicos totais. 5. Atividade antioxidante. I. Seiffert, Walter Quadros. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. III. Título.

**Efeito do estresse hídrico na produção de compostos bioativos de
Sarcocornia ambigua em sistema aquapônico com *Litopenaeus
vannamei***

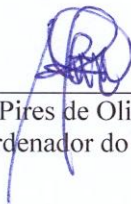
Por

HORTÊNCIA VENTURA DA SILVA

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

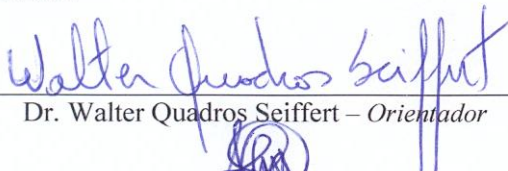
MESTRE EM AQUICULTURA

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



Prof. Alex Pires de Oliveira Nuñez, Dr.
Coordenador do Programa

Banca Examinadora:



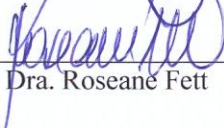
Dr. Walter Quadros Seiffert – *Orientador*



Dr. Alex Pires de Oliveira Nuñez



Dr. Maurício Gustavo Coelho Emerenciano



Dra. Roseane Fett

Dedico este trabalho a João Sobral (*in memoriam*) e Amélia Sobral (*in memoriam*) por todo carinho, educação e principalmente pelos estudos.

Agradecimentos

Ao meu orientador Walter Quadros Seiffert por ter me aceitado como aluna, depositando confiança no meu trabalho, sempre me aconselhando e tendo enorme paciência.

Aos professores da Pós-Graduação em Aquicultura-UFSC pelos novos conhecimentos adquiridos.

Ao Carlito pela paciência e atenção sempre quando precisei.

Ao amigo e Professor Dárlcio Teixeira por todo incentivo para estar aqui, pelas palavras amigas e força na nova etapa que estava se iniciando.

Aos amigos da equipe de AQUAPONIA/LCM que me ajudaram no experimento. Sem vocês não seria possível realizar esse trabalho: Isabela, Efrayn, Lucas, Gabriela, Luciana, Joaquim, Talita e Leonardo.

A todos os amigos que fiz no LCM, que deram apoio na execução do experimento direta ou indiretamente, apoio moral e psicológico.

A Tamiris pela amizade, companheirismo, risos e parceria.

A Priscila pela amizade que criamos no ambiente de trabalho e fora, por conselhos e pelo carinho.

Ao Carlos Manoel por toda ajuda, sempre perto com maior atenção e pronto para solucionar meus problemas.

Aos funcionários do LCM: Davi, Ipson, Andreia, Diego, Dimas, seu Francisco, Mari e Carlos Miranda.

Ao Professor Jorge Barcelos por toda ajuda com a Hidroponia.

Ao Luciano do CAL-UFSC pela enorme atenção nas análises realizadas no Laboratório de Química dos Alimentos.

A minha família que mesmo distante é meu maior apoio para estar concluindo o Mestrado, especialmente a minha mãe Elza, meu padrasto Reginaldo e minha irmã Maria Eduarda por todo amor, carinho e incentivo.

Ao André meu companheiro, que está ao meu lado nessa etapa tão importante dando-me força e aguentando meus momentos de estresse (que não são poucos), a tensão do experimento e da escrita.

Ao CNPq pela bolsa de estudos.

A todos aqueles que não foram citados, mas me ajudaram de alguma forma, meu muito obrigada.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a produção de compostos fenólicos e atividade antioxidante de *Sarcocornia ambigua* expostas a diferentes períodos de estresse hídrico (seca) em sistema de aquaponia com *Litopenaeus vannamei*, cultivados em sistema de bioflocos (BFT). Foram avaliados quatro tratamentos: 6, 12, 18 e 24 horas de irrigação diária, todos com triplicata. Cada unidade experimental era composta por um tanque de 800 L, decantador cilindro-cônico de 40 L e uma bancada hidropônica modelada a partir do sistema de Filme Nutriente (NFT-Nutrient Film Technique), com 0,4 m² de área total. Os tanques de 800 L recebeu 200 camarões de 2,4 g (densidade final: 250 m⁻³), e foram criados em BFT durante 10 semanas. Após este período, camarões atingiram o peso médio final de 11,1 ± 0,1 g, sem diferença entre os tratamentos. A maior produtividade de *S. ambigua* foi de 1,9 ± 0,1 e 1,7 ± 0,4 kg m⁻², nos tratamentos 6 e 18 horas de irrigação diária respectivamente, seguidos por tratamentos 12 e 24 horas 1,2 ± 0,4 e 1,1 ± 0,4 kg m⁻². Por outro lado, os tratamentos 12 e 24 horas apresentaram os valores mais elevados (p<0,05) para os compostos fenólicos totais em *S. ambigua*, 48,43 ± 1,8 e 47,79 ± 1,6 mg EAG (gálico ácido equivalente) 100 g⁻¹ MF (matéria fresca), respectivamente, enquanto os 6 e 18 horas tratamentos apresentado apenas 42,67 ± 1,1 e 42,63 ± 1,3 mg GAE 100 g⁻¹ MF. A atividade antioxidante também diferiu (p<0,05) entre os tratamentos, as concentrações mais elevadas foram encontradas em tratamentos de 12 e 24 horas 41,3 ± 0,6 e 43,7 ± 0,8 pmol TEAC (capacidade antioxidante equivalente ao Trólox) 100 g⁻¹ MF respectivamente, para tratamentos de 6 e 18 horas as concentrações foram de 29,9 ± 0,8 e 31,1 ± 1,5 pmol TEAC 100 g⁻¹ MF. A média global de recuperação de Nitrogênio foi de 29,3% em todos os tratamentos. Em conclusão, *S. ambigua* com de 12 horas de irrigação diária apresentaram maior produção de compostos bioativos, não afetando a produtividade das plantas e camarão.

Palavras-chave: Aquicultura, Aquaponia, *Litopenaeus vannamei*, Fenólicos totais, Atividade antioxidante.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the production of phenolic compounds and antioxidant activity of *Sarcocornia ambigua* exposed to different periods of water stress (drought) in aquaponics system with *Litopenaeus vannamei* reared in biofloc technology system (BFT). Four treatments were evaluated: 6, 12, 18 and 24 hours of daily irrigation, all set up in triplicates. Each experimental unit consisted of an 800 L tank, a 40 L conical bottom settler and a hydroponic bench modeled from the Nutrient Film System (NFT-Nutrient Film Technique), with 0.4 m² of total area. The 800 L tanks received 200 shrimps of 2.4 g (final density: 250 m⁻³), and they were reared in BFT for 10 weeks. After this period, shrimps reached the average final weight of 11.1±0.1 g, with no difference between the treatments. The higher productivity of *S. ambigua* was 1.9±0.1 and 1.7±0.4 kg m⁻², from treatments with 6 and 18 hours of daily irrigation, respectively, followed by 1.2±0.4 and 1.1±0.4 kg m⁻² from 12 and 24 hours treatments. On other hand, the 12 and 24 hours treatments showed the highest values (p<0.05) for total phenolic compounds in *S. ambigua*, 48.43±1.8 and 47.79±1.6 mg EAG (gallic acid equivalent) 100 g⁻¹ FW (fresh weight) respectively, while the 6 and 18 hours treatments presented only 42.67±1.1 and 42.63±1.3 mg GAE 100 g⁻¹ FW. The antioxidant activity also differed (p<0.05) between treatments, the highest concentrations were found in treatments 12 and 24 hours 41.3±0.6 and 43.7±0.8 µmol TEAC (equivalent antioxidant capacity to trolox) 100 g⁻¹ FW, respectively, for treatments 6 and 18 hours the concentrations were 29.9±0.8 and 31.1± 1.5 µmol TEAC 100 g⁻¹ FW. The overall average of nitrogen recovery was 29.3% for all treatments. In conclusion, *S. ambigua* under 12 hours of daily irrigation showed higher production of bioactive compounds, not affecting the productivity of plants and shrimp.

Keywords: Aquaculture, Aquaponic, *Litopenaeus vannamei*, Total phenolic, Antioxidant activity.

Sumário

CAPITULO I.....	15
1. Introdução.....	15
2. Justificativa.....	19
3. Objetivos	20
Objetivo geral.....	20
Objetivos específicos.....	20
CAPITULO II	21
Efeito do estresse hídrico na produção de compostos bioativos para alimentação humana de <i>Sarcocornia ambigua</i> em sistema aquapônico com o camarão branco do Pacífico	21
5. Resumo.....	22
6. Introdução.....	23
7. Material e métodos	25
7.1 Material biológico	25
7.1.1 Plantas e camarões.....	25
7.2 Unidades experimentais	25
7.3 Delineamento experimental.....	28
7.4 Manejo do sistema.....	28
7.5 Parâmetros de qualidade de água	29
7.6 Índices zootécnicos de <i>L. vannamei</i> e produtividade da <i>S.</i> <i>ambigua</i>	29
7.7 Recuperação do nitrogênio da ração.....	29
7.8 Preparação dos extratos para análises de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante	30
7.9 Determinação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da <i>S.ambigua</i>	30
7.10 Análise estatística	31
8.1 Parâmetros de qualidade de água	31
8.3 Recuperação do nitrogênio da ração.....	35
8.4 Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da <i>S.</i> <i>ambigua</i>	35
9.1 Parâmetros de qualidade de água	36
9.2 Índices zootécnicos dos camarões e produtividade da <i>S. ambigua</i> .	37
9.3 Recuperação do nitrogênio da ração.....	38
9.4 Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da <i>S.</i> <i>ambigua</i>	38
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
12. Considerações finais.....	47
13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO	49

ANEXO I	55
ANEXO II	55
ANEXO III.....	56
ANEXO IV	57
ANEXO V.....	58
ANEXO VI	58
ANEXO VII.....	59

CAPITULO I

1. INTRODUÇÃO

A produção aquícola mundial apresentou um notório desenvolvimento nas últimas cinco décadas. Em 2013 a aquicultura mundial atingiu 97.201.870 toneladas incluindo peixes, crustáceos, moluscos, algas e outros organismos aquáticos. A produção mundial de crustáceos alcançou 6.711.678 toneladas. No Brasil, em 2013 a produção aquícola foi de 474.159 toneladas, representando 1,1% da produção mundial. Sendo que deste montante, 64.769 toneladas foram provenientes da carcinicultura marinha (FAO, 2015).

Na busca pela sustentabilidade a aquicultura vem desenvolvendo novos sistemas de produção (AVNIMELECH, 2012). Dentre estes sistemas destaca-se o do cultivo em bioflocos. O sistema de bioflocos (BFT do inglês Biofloc Technology) é uma técnica de cultivo com baixa renovação de água que vem mostrando resultados promissores na produção intensiva do *Litopenaeus vannamei* e de outras espécies de organismos aquáticos cultivados (AVNIMELECH, 2012; TAW, 2010). Esse sistema foi desenvolvido para controlar o acúmulo de compostos nitrogenados na água (amônia e nitrito) que em elevadas concentrações podem ser tóxicos para os organismos cultivados (CRAB et al., 2007). Para isto, a água dos tanques é utilizada de forma contínua, estimulando a ciclagem da matéria orgânica dentro do sistema de cultivo através dos agregados microbianos (BROWDY et al., 2001; HARGREAVES, 2006). Os agregados microbianos formados servem de alimento para os organismos cultivados, contribuindo para sua nutrição (AZIM; LITTLE, 2008; BUFFORD et al., 2004; HARI et al., 2004).

No entanto neste sistema são produzidos pequenos volumes de águas residuais, com elevadas concentrações de nitrogênio e fósforo quando comparado com sistemas de cultivo que utilizam a renovação da água como forma de manejo (LIN et al., 2003, 2005). A integração de espécies de plantas comercialmente importantes que absorvam o nitrogênio e fósforo do sistema de aquicultura é uma alternativa que vem sendo difundida (RAKOCY, 2002). Neste caso, a utilização de plantas no sistema de bioflocos poderia reduzir os impactos ambientais gerados pelos efluentes do cultivo e maximizar o aproveitamento dos nutrientes dissolvidos na água de cultivo.

Aquaponia é um sistema integrado multitrófico que ajusta elementos de recirculação da aquicultura e da hidroponia no qual a água

de tanques com animais aquáticos, rica em nutrientes, é utilizada para o crescimento de plantas (RAKOCY, 2012). Nos sistemas aquapônicos os organismos aquáticos consomem rações balanceadas e excretam resíduos, principalmente sob a forma de amônia. As bactérias integrantes do sistema convertem a amônia em nitrito e em seguida a nitrato (RAKOCY, 2002; SELOCK, 2003; LEE, 2004; OKIMOTO, 2004; GRABER; JUNGE, 2009).

O sistema de produção aquapônico tem várias vantagens sobre os sistemas de recirculação convencionais utilizados na aquicultura e sistemas hidropônicos que usam soluções nutritivas inorgânicas. O componente hidropônico (plantas) serve como um biofiltro reduzindo assim a utilização de elementos filtrante. Este biofiltro natural pode gerar renda, assim como no sistema de hidroponia convencional, a partir da venda da produção aquapônica, como vegetais, ervas e flores (RACKOCY; HARGREAVES, 1993). A aquaponia é uma das soluções econômicas para obtenção de benefícios dos efluentes da aquicultura, uma vez que utiliza os nutrientes para produzir vegetais frescos. As plantas produzidas através deste sistema podem ser consideradas um produto orgânico e mais seguro para consumo humano (KHATER; ALI, 2015).

Na sua grande maioria o sistema aquapônico é formado por uma estrutura simples, composto por um tanque para os animais, biofiltro para nitrificação das bactérias, sedimentador para os sólidos suspensos e uma bancada hidropônica para acomodar e produzir as plantas, como tomate, pepino e alface (RAKOCY, 2012; GRABER; JUNGE, 2009; LENNARD; LEONARD, 2006). Porém para se empregar esse sistema em cultivos marinhos é exigida uma planta halófito (tolerante a salinidade), comercialmente valiosas e que possam se desenvolver em águas de efluentes salinos (CALHEIROS et al., 2012).

As halófitas são consideradas plantas capazes de completar o seu ciclo de vida em ambientes onde a concentração salina é igual ou acima de 200 μmol de NaCl (FLOWERS; COLMER, 2008). Devido ao seu valor nutricional que incluem vitaminas, antioxidantes, fibras, minerais, proteínas e carboidratos, as halófitas mais cultivadas são as do gênero *Sarcocornia* e *Salicornia* (JANG et al., 2007; LEE et al., 2002; JEONG et al., 2004; VENTURA et al., 2011). Na região sul do Brasil há ocorrência da espécie *Sarcocornia ambigua* (sin.: *Salicornia gaudichaudiana*) (ALONSO; CRESPO, 2008). Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos com essa espécie dentre eles Pinheiro (2015) avaliou *S. ambigua* em cultivo aquapônico com *L. vannamei*, Bertin et al. (2014) analisaram a composição de nutrientes e identificação dos

compostos fenólicos e Costa et al. (2006) estudaram o efeito da radiação ultravioleta nesta espécie.

A *Salicornia* é comercializada e consumida no mercado europeu como um vegetal fresco e desfolhado que se assemelham a aspargos verdes. Esse vegetal está presente na alta gastronomia, não só pelo seu sabor salgado, mas também por seu valor nutricional elevado em termos de minerais e vitaminas antioxidantes, tais como vitamina C e carotenoides (LU et al., 2001). O cloreto de sódio em alguns casos é potencialmente negativo para a saúde humana e este composto também está presente nas espécies de halófitas, porém esses níveis podem ser compensados pela necessidade de adicionar pouco ou nenhum sal à preparação dos alimentos (MAGGIO et al., 2011). As halófitas também apresentam em sua composição potássio (K^+), magnésio (Mg^{2+}) e cálcio (Ca^{2+}) que conferem valor nutricional ao produto (FLOWERS; COLMER, 2008). Estudos com *Salicornia* e *Sarcocornia* tornam-se relevantes pela variedade estrutural dos constituintes químicos (compostos bioativos, vitaminas e minerais) complexidade taxonômica, pelo valor nutricional e medicinal, com efeitos biológicos e fisiológicos comprovados sobre a saúde humana, que incluem atividade antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória, antitrombótica e antineoplásica (MIN et al., 2002; PARK et al., 2006; LEE et al., 2005; CHA et al., 2004; LEE et al., 2007).

Nas halófitas estão presentes mecanismos adaptáveis em respostas a estresses combinados (seca e salinidade), que têm evoluído de forma complexa. As halófitas estão bem documentadas quanto à sua capacidade para suportar e extinguir ROS (espécies reativas de oxigênio), uma vez que estão equipadas com um sistema antioxidante poderoso capaz de produzir uma variedade de metabólitos com uma gama diversificada de bioatividades, especialmente para antioxidante (KSOURI et al., 2008). O estresse oxidativo é conhecido como um fenômeno adicional de impacto nas plantas. Este efeito secundário surge como uma consequência de hiperosmolaridade causado pela imposição de plantas para condições de estresse salino ou hídrico (seca) resultando no aparecimento de moléculas de oxigênio reativo, tais como peróxido de hidrogênio, hidroxilo e radicais aniões superóxido (XIONG et al., 2002). A biossíntese e o acúmulo de polifenóis e outros metabólitos secundários em plantas são considerados respostas evolutivas das vias bioquímicas sob influências ambientais desfavoráveis, ou seja, constrangimentos bióticos/abióticos, incluindo aumento da salinidade (NAVARRO et al., 2006; MEOT-DUROS et al., 2008) e estresse hídrico (SELMAR; KLEINWÄCHTER, 2013).

Moléculas antioxidantes podem inibir a oxidação, assim retardando o progresso de muitas doenças crônicas (GÜLÇİN, 2012). Frutas e verduras contêm vários fitoquímicos com atividade antioxidante que podem proteger o corpo humano contra reações de oxidação celular (GIOVANELLI; BURATTI, 2009). A principal classe de fitoquímicos comumente encontradas em tais produtos são os compostos fenólicos. Estes compostos têm propriedades antioxidantes fortes que lhes permitem eliminar os radicais livres (MENG; FANG; QIN; ZHUANG; ZHANG, 2012). Essaidi et al. (2002) afirmou em seus estudos que *S. herbacea* apresenta atividade antioxidante, especialmente pela variedade de compostos fenólicos, recomendando seu uso na forma *in natura* como alimento.

A busca pelo entendimento destes mecanismos e fatores de estresse que possam orientar a produção de alimentos funcionais vem merecendo destaque no mundo científico. Um alimento é considerado “funcional” quando fornece ação preventiva e/ou curadora contra uma ou mais doenças além de seus benefícios nutricionais adequados (ROBERFROID, 2007). O mercado de alimentos funcionais está em crescimento, em todo o mundo, onde novos produtos são lançados continuamente (BIGLIARDI; GALATI, 2013). Vários motivos, como o aumento da expectativa de vida e dos custos dos cuidados com a saúde são uma forma de contribuição para o futuro crescimento nesse segmento de produto. Portanto, não é surpreendente que a indústria alimentar (KHAN et al., 2013) e pesquisadores (BETORET et al., 2011) invistam recursos substanciais no desenvolvimento de novos produtos alimentares funcionais e em tecnologias para concepção de tais alimentos.

Desta forma, a presente pesquisa buscou avaliar a produção de compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante na *S. ambigua* cultivada em sistema aquapônico com *L. vannamei*, em distintos intervalos diários de estresse hídrico.

2. JUSTIFICATIVA

Algumas halófitas dos gêneros *Sarcocornia* e *Salicornia* têm demonstrado ser um alimento funcional promissor devido ao seu elevado valor nutricional em termos de minerais, incluindo Mg^{2+} , Na, Ca^{2+} , Fe e K^+ , fibra alimentar e compostos bioativos, tais como os fitoesteróis, polissacarídeos e compostos fenólicos, particularmente flavonóides e ácidos fenólicos. Estudos recentes tem focado no isolamento de compostos bioativos a partir das partes aéreas de *Salicornia herbacea* (espécie comercializada na Europa), tais como flavonóides, ácidos fenólicos, a fim de elucidar os seus potenciais benefícios para a saúde. No entanto, pouca atenção tem sido dada a espécies encontradas no Brasil, sobre a caracterização e indução a produção de compostos bioativos. A busca por um melhor tempo de irrigação, onde sejam produzidas concentrações altas de compostos bioativos e uma melhor produtividade das plantas, sem alterar o desenvolvimento do *L. vannamei*, é a principal justificativa para a realização desta pesquisa.

3. OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar a produção de compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante na *Sarcocornia ambigua* cultivada em sistema aquapônico com *Litopenaeus vannamei* em distintos períodos diários de estresse hídrico.

Objetivos específicos

Avaliar o efeito dos períodos de irrigação diário nas calhas hidropônicas (6h; 12h; 18h e 24h/dia), no cultivo aquapônico (NFT-Nutrient Film Technic) de *S. ambigua* e *L. vannamei* sobre:

- A qualidade de água do cultivo para animais e plantas.
- Os índices de produção das plantas.
- Os índices zootécnicos dos camarões.
- A recuperação do nitrogênio da ração fornecida através das plantas e camarões.
- O conteúdo de compostos fenólicos totais de *S. ambigua*.
- A atividade antioxidante de *S. ambigua*.

4. Formatação da dissertação

O trabalho está dividido em dois capítulos. O primeiro referente à introdução geral e o segundo ao artigo científico, formatado segundo as normas da revista *Aquacultural Engineering*. Classificação Qualis CAPES B1 na área de Zootecnia e Recursos Pesqueiros e fator de impacto igual a 1,181.

CAPITULO II

Efeito do estresse hídrico na produção de compostos bioativos para alimentação humana de *Sarcocornia ambigua* em sistema aquapônico com o camarão branco do Pacífico

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Aquicultura, Laboratório de Camarões Marinhos, Servidão dos Coroas número 503, Barra da Lagoa, 88061-600, Florianópolis, SC, Brasil.
hortencia_ventura@hotmail.com

*Artigo formatado de acordo com as normas da revista “*Aquacultural Engineering*”

5. RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi o de avaliar a produção de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da *Sarcocornia ambigua* em sistema de aquaponia cultivada com o *Litopenaeus vannamei* exposta a diferentes intervalos de estresse hídrico diário. O experimento teve duração de 73 dias e foram avaliados quatro tratamentos com três réplicas, denominados: 6 horas, 12 horas, 18 horas e 24 horas de irrigação diária. Cada unidade experimental era composta por um tanque de 800 L, decantador cilindro-cônico de 40 L e uma bancada hidropônica modelada a partir do sistema de Filme Nutriente (NFT-Nutrient Film Technique), com 0,4 m² de área. Cada unidade experimental recebeu animais de 2,4±0,1 g com uma densidade de 250 camarões m⁻³. Os camarões eram alimentados quatro vezes ao dia com uma dieta comercial com 35% de proteína bruta. O sistema de cultivo utilizado para os camarões foi o de bioflocos (BFT). Os camarões atingiram um peso médio final de 11,1±0,1 g. A produtividade de *S. ambigua* foi maior nos tratamentos 6 e 18 horas com 1,9±0,1 kg m⁻² e 1,7±0,4 kg m⁻² respectivamente, seguidos dos tratamentos 12 e 24 horas com 1,2±0,4 e 1,1±0,4 kg m⁻² respectivamente. Foram encontradas diferenças significativas (p<0,05) para os fenólicos totais entre os tratamentos, sendo os maiores valores obtidos nos tratamentos 12 e 24 horas com concentrações de 48,43±1,8 e 47,79±1,6 mg EAG (ácido gálico equivalente) 100 g⁻¹ MF (matéria fresca), seguidos dos tratamentos 6 e 18 horas com concentrações de 42,67±1,1 e 42,63±1,3 mg EAG 100g⁻¹ MF. A atividade antioxidante diferiu (p<0,05) entre os tratamentos, sendo que as maiores concentrações foram encontradas nos tratamentos 12 e 24 horas com 41,3±0,6 e 43,7±0,8 µmol TEAC (capacidade antioxidante equivalente ao trolox) 100 g⁻¹ MF respectivamente enquanto nos tratamentos 6 e 18 horas as concentrações foram 29,9±0,8 e 31,1±1,5 µmol TEAC 100 g⁻¹ MF. Houve uma recuperação média total de nitrogênio do sistema de 29,3% para os tratamentos. Utilizando-se aquaponia, numa condição de irrigação diária de 12 horas diária, foi possível produzir concentrações de fenólicos totais e atividade antioxidante semelhante a alguns vegetais folhosos considerados ricos em antioxidante, caracterizando a planta como alimento funcional.

Palavras-chave: Atividade antioxidante, fenólicos totais, aquaponia, recuperação de nitrogênio

6. INTRODUÇÃO

Em virtude das perdas econômicas que a carcinicultura mundial tem sofrido nos últimos anos, devido às enfermidades e as críticas recebidas pelo setor em relação à sustentabilidade, novos sistemas de produção têm sido estudados. O sistema de cultivo em bioflocos tem sido visto por pesquisadores como uma alternativa viável aos sistemas tradicionais, ocupando menor área de cultivo, empregando menores volumes de água e com maior biossegurança (Hargreaves, 2006).

A tecnologia de cultivo com bioflocos foi desenvolvida para controlar o acúmulo de compostos nitrogenados na água do cultivo (amônia e nitrito) que em concentrações elevadas podem ser tóxicos para os organismos cultivados, além de ser uma técnica de cultivo com mínimas ou nenhuma renovações de água (Avnimelech, 2004). Nesses sistemas são produzidos menores volumes de efluentes, porém com maiores concentrações de compostos nitrogenados e fósforo dissolvidos (Quintã et al., 2015). Para minimizar esse excesso de nutrientes podem ser utilizadas plantas em sistema de cultivo integrado (Buhmann et al., 2015).

Como solução a esse entrave, temos a aquaponia, que é um sistema integrado que une a aquicultura com a produção hidropônica, emergindo como uma alternativa inovadora e sustentável (Tyson et al., 2011). A aquaponia aumenta a eficiência de retenção de nutrientes, reduz o uso de água e resíduos (principalmente nutrientes), diminui a descarga de efluentes para o meio ambiente e melhorar a rentabilidade (Diver, 2006; Tyson et al., 2011). Entretanto, para cultivos marinhos em sistemas aquapônico torna-se necessário a utilização de plantas halófitas que tolerem diferentes níveis de salinidade (Buhmann; Papenbrock, 2013).

As halófitas são plantas cujo ciclo de vida ocorre em ambientes com altas concentrações de sal (100 a 500 μmol de NaCl) (Flowers; Colmer, 2008). Dentre as halófitas as *Salicornias* e *Sarcocornias* são plantas caracterizadas por uma morfologia simples, uma vez que produzem apenas brotos suculentos que aparentemente não apresentam folhas. Os gêneros *Sarcocornia* e *Salicornia* são distinguidos agora pelos seus hábitos distintos de crescimento perene e anual, respectivamente (Davy et al., 2006) e por diferenças no arranjo das flores (Kadereit et al., 2007).

No Brasil há ocorrência da espécie *Sarcocornia ambigua* (sinônimo de *Salicornia gaudichaudiana*) (Alonso e Crespo, 2008;

Costa et al., 2006). As espécies do gênero *Sarcocornia* e *Salicornia* estão recebendo maior importância devido ao seu grande potencial como alimento funcional, devido à planta ser fonte de compostos bioativos (Parida et al., 2005). Em meio a esses compostos bioativos, são notórios e de grande importância, os compostos fenólicos, que atualmente são objeto de estudos por suas propriedades antioxidantes, podendo atuar em diversas ações fisiológicas, tais como ação anti-inflamatória, antineoplásica e antitrombótica (Min et al., 2002; Cha et al., 2004; Lee et al., 2005; Park et al., 2006; Lee et al., 2007).

As plantas halófitas quando expostas a fatores abióticos adversos, como a seca (estresse hídrico), apresentam um sistema eficaz para neutralizar o dano oxidativo causado por espécies reativas de oxigênio (ROS), aumentando a regulação de ROS e produzindo enzimas antioxidantes e a síntese de pequenas moléculas não enzimáticas com propriedades antioxidantes tais como, antocianinas, carotenóides e compostos fenólicos (flavonoides e ácidos fenólicos), que constituem a principal estratégia de desintoxicação da planta (Türkan; Demiral, 2009; Zhu, 2001).

A proposta deste estudo foi avaliar o efeito do estresse hídrico na produção de compostos bioativos (fenólicos totais e atividade antioxidante) em *S. ambigua* cultivada em sistema aquapônico com o *L. vannamei* e as consequências para o sistema de cultivo, utilizando-se diferentes períodos diários de seca e irrigação.

7. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado entre os meses de Março e Maio de 2015, no Laboratório de Camarões Marinhos da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

7.1 *Material biológico*

7.1.1 *Plantas e camarões*

As mudas de *S. ambigua* foram produzidas nos meses de Dezembro/2014 à Março/2015 por meio de propagação vegetativa com estaquia. Foram utilizadas estacas semi-lenhosas de 10 cm de comprimento, retiradas do banco matriz do LCM. As estacas foram plantadas em bandejas para produção de mudas contendo substrato de areia, húmus de minhoca e perlita, na proporção de 1:1:1. As estacas foram mantidas em uma sala arejada com fotoperíodo natural, temperatura ambiente e irrigação com água potável durante 30 dias. Após esse período as plantas foram levadas para uma área externa com incidência solar direta. Após 85 dias as mudas estavam prontas para o início do experimento. O peso médio individual inicial das mudas utilizadas para iniciar o experimento foi de $13,2 \pm 1,2$ g.

Os camarões utilizados nesse estudo foram da espécie *L. vannamei*, oriundos da empresa AQUATEC LTDA (Canguaretama, Rio Grande do Norte, Brasil). Os animais foram cultivados em sistema de bioflocos em tanque matriz de 50m^3 , alimentados quatro vezes ao dia com ração comercial 35% Proteína Bruta (Guabi Potimar, Campinas, SP, Brasil), até atingirem o peso médio de $2,4 \pm 0,1$ g para o início do experimento.

7.2 *Unidades experimentais*

As unidades experimentais seguiram o modelo proposto por Pinheiro (2015). Foram utilizadas 12 unidades experimentais circulares de polietileno com 800 L de volume útil (raio=0,65 metros), em cada unidade foi empregada aeração constante através de difusores aerotubos ligados a um soprador de ar “blower” de 7,5 CV, aquecedores de titânio (1000 watts de potência) com termostato, quatro substratos artificiais (tela de polietileno com malha de 1 mm) totalizando 50% da área de superfície do tanque, decantador (sedimentador) cilindro-cônico e uma

bancada horizontal acima dos tanques com calhas NFT (Nutrient Film Technique) para acomodar as plantas (Fig.1).

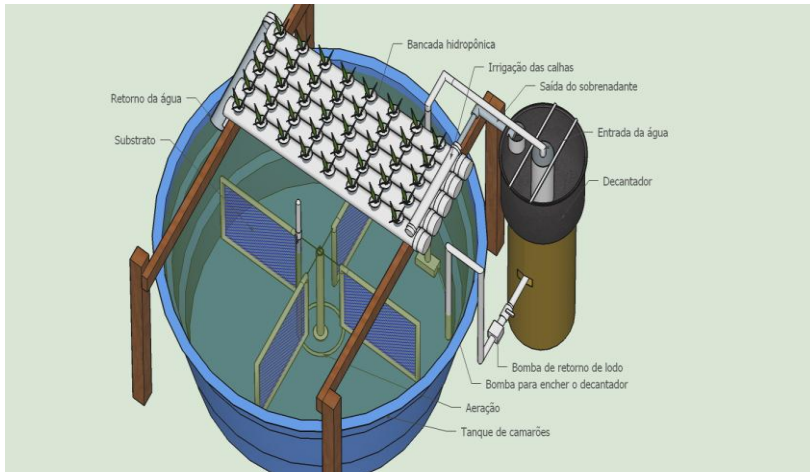


Fig.1 Unidade Experimental aquapônica (Pinheiro, 2015).

A bancada aquapônica NFT foi desenvolvida para ficar 0,5m acima do nível da água de cada unidade experimental. As calhas foram constituídas por cinco tubos de PVC de 75 mm de diâmetro medindo 110 cm dispostos lado a lado e sobrepostos em bancadas de madeira com declividade de 4%. Os tubos de PVC receberam uma pintura externa de esmalte sintético na cor alumínio para refletir a luz incidente e evitar o aquecimento do filme de água que circulava pelos mesmos (Rodrigues, 2002). Cada calha possuía oito orifícios para acomodação das mudas, com distancia de 12 cm entre eles (Izeppi, 2011). A bancada aquapônica apresentava uma área de 0,4m², com cinco calhas onde foram dispostas 40 mudas de *S. ambigua* por unidade experimental, correspondendo a uma densidade de 100 plantas m². As mudas foram retiradas das bandejas junto com o substrato aderido em suas raízes para não causar nenhum tipo de dano. Logo após, foram acondicionadas individualmente em telas de nylon 15x15cm, dentro de um tubo PVC de 50 mm servindo como suporte dentro dos orifícios das calhas NFT. Dentro das telas de nylon foram acrescentadas perlita para servir de substrato (Ventura et al., 2011).

A fim de proteger as raízes das plantas do excesso de sólidos gerados pelo sistema de cultivo dos camarões (Hu et al., 2015) foi utilizado um decantador cilindro-cônico com volume de 40 L (Baloi et

al., 2013). A água de cada unidade experimental foi bombeada com uma vazão de $3,0 \text{ L min}^{-1}$ através do emprego de uma bomba submersa (Sarlo Better modelo SB650, São Caetano do Sul, SP, Brasil). A água que irrigava as bancadas aquapônica descia por gravidade de uma saída na parte superior do sedimentador. Este era conectado por um tubo e um joelho de PVC 90° de 32 mm que lançava a água em outro tubo de PVC 60 mm onde ficava disposto perpendicularmente sobre os canais que ficavam as plantas. A água que era distribuída no tubo de PVC de 60 mm era redistribuída para todos os canais da bancada aquapônica por meio de cinco adaptadores $20 \times 1/2''$ acoplando um tubo de PVC de 20 mm. A água dos canais que passavam pelas raízes das plantas voltava por gravidade para os tanques do cultivo através de uma calha acoplada no final da bancada.

Cada decantador apresentava na sua saída inferior uma eletrobomba (Emicol modelo EBE 01, Itu, Sp, Brasil) com uma vazão de 14 L min^{-1} para a drenagem do lodo que ficava acumulado dentro do mesmo de volta para o tanque de cultivo. Mantendo os níveis de sólidos suspensos na água do sistema de cultivo dos camarões em concentrações adequadas (Schveitzer et al., 2013). As eletrobombas eram controladas por quatro timers digitais (Kienzle modelo TH 857, Tucuruvi, SP, Brasil) por circuito (um circuito para cada tratamento). A cada sessenta minutos esta bomba era acionada por meio de timer digital e permanecia em funcionamento por sessenta segundos, drenando o material particulado para os tanques de cultivo. Devido a esse processo de drenagem, a cada hora as calhas com plantas ficavam sem irrigação por um período de três minutos em todos os tratamentos, até a água no decantador voltar ao nível necessário à drenagem das calhas aquapônicas, portanto os tratamentos de 6h, 12h, 18h e 24h ficavam sem irrigação por 18 minutos, 36 minutos, 54 minutos e 72 minutos ao longo do dia respectivamente.

Um dia antes da transferência dos camarões para as unidades experimentais foi feito o enchimento dos tanques com água bombeada do tanque matriz de 50 m^3 (Sólidos suspensos totais = 300 mg L^{-1} , nitrogênio amoniacal = $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, Nitrito = $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ e Nitrato $73,0 \text{ mg L}^{-1}$). A água bombeada estava em condições quimiotróficas ocorrendo à oxidação da amônia e nitrito a nitrato.

7.3 Delineamento experimental

Foram avaliados quatro tratamentos com três réplicas, totalizando 12 unidades experimentais distribuídas completamente ao caso dentro de uma estufa de 243 m² total. Os tratamentos foram definidos por quatro períodos de bombeamento contínuo de água nas calhas com plantas ao longo de um dia (ciclo de 24 horas). Para evitar a desidratação das plantas os períodos de bombeamento foram planejados para que não faltasse água nos canais nas horas mais quentes do dia. No tratamento 6h o bombeamento iniciava às 09h00min e terminava às 15h00min. No Tratamento 12h o bombeamento iniciava às 09h00min e finalizava às 21h00min. No Tratamento 18h o bombeamento iniciava às 09h00min e finalizava às 03h00min. O tratamento 24h consistia em irrigação nas calhas com plantas ao longo de todo o dia.

Todos esses intervalos de tempo foram controlados por quatro timers digitais (Kienzle modelo TH 857, Tucuruvi, SP, Brasil), para o circuito de bombas submersas (um circuito para cada tratamento). Quando as bombas submersas eram desligadas as calhas com as plantas ficavam sem água, até o sistema ser acionado no dia seguinte.

7.4 Manejo do sistema

Cada unidade experimental foi povoada com 200 camarões (2,4±0,1 g), resultando 250 camarões m⁻³. Os camarões foram alimentados quatro vezes ao dia (08:00, 11:00, 14:00 e 17h00min) com ração comercial 35% Proteína Bruta (Guabi Potimar). A ração foi ajustada e calculada semanalmente com base no ganho de peso, conversão alimentar e sobrevivência estimada (Ray et al., 2010). Para avaliar o ganho de biomassa, foram realizadas biometrias semanais, por amostragem de 25 camarões de cada unidade experimental, logo após este procedimento, eram devolvidos aos tanques. Sendo que o experimento teve duração de 73 dias. A alcalinidade foi mantida acima de 120mg L⁻¹, se os níveis estivessem abaixo desse valor, era adicionado hidróxido de cálcio a uma proporção de 20% (base seca) da quantidade diária de ração que entrava no sistema (Schweitzer et al., 2013). Não houve renovação de água durante o experimento, apenas reposição da perda por evaporação. A intensidade luminosa dentro da estufa foi medida semanalmente sempre às 11h00min. Durante o período experimental o fotoperíodo natural foi de 10 horas claro e 14 horas

escuro. A intensidade luminosa variou de 86,8 a 1537,4 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

7.5 Par\u00e2metros de qualidade de \u00e1gua

Ao longo do per\u00edodo experimental a temperatura e a concentra\u00e7\u00e3o de oxig\u00eanio dissolvido foram aferidas \u00e0s 08h00min e 17h00min (ox\u00edmetro YSI Pro20). As an\u00e1lises de alcalinidade (APHA, 2005 – 2320 B), s\u00f3lidos suspensos totais (APHA, 2005), pH (pHmetro YSI pH100), nitrito (Aminot e Chaussepied, 1983) e am\u00f4nia total (Grasshoff et al., 1983) foram medidas duas vezes por semana. Ortofosfato (Aminot e Chaussepied, 1983), nitrato (HACH method 8039; Cadmium Reduction) e salinidade (YSI EC300A) foram realizadas uma vez por semana.

7.6 \u00cdndices zoot\u00e9cnicos de *L. vannamei* e produtividade da *S. ambigua*

Uma vez finalizado o per\u00edodo experimental foram analisados os seguintes \u00cdndices zoot\u00e9cnicos do cultivo de camar\u00f5es: Peso m\u00e9dio final (g), ganho de peso semanal (g), biomassa final (g m^{-3}), sobreviv\u00eancia (%) e fator de convers\u00e3o alimentar.

As plantas foram pesadas individualmente. Calculou-se peso m\u00e9dio final (g), biomassa final (kg), ganho de biomassa (kg) e produtividade (kg m^{-2}) de cada unidade experimental.

Foi determinada para cada unidade experimental a rela\u00e7\u00e3o planta kg kg^{-1} de camar\u00e3o (peso \u00famido), dividindo a biomassa total de plantas (parte a\u00e9rea e ra\u00edzes) pela biomassa total de animais em cada unidade aquap\u00f4nica.

7.7 Recupera\u00e7\u00e3o do nitrog\u00eanio da ra\u00e7\u00e3o

Para quantificar o aproveitamento de nitrog\u00eanio do sistema foi determinado o nitrog\u00eanio total da ra\u00e7\u00e3o, do camar\u00e3o e da planta de cada tratamento, pelo m\u00e9todo *Kjeldahl* (NTK) (AOAC - 920.87, 2005). Para isto, ao t\u00e9rmino do experimento foram coletadas amostras de um quilo de plantas por tratamento, quinze camar\u00f5es por tratamento e 300 g da ra\u00e7\u00e3o utilizada no experimento.

7.8 Preparação dos extratos para análises de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante

Os extratos da *S. ambigua*, foram preparados por tratamento, usando 10 g de amostra fresca (parte aérea) trituradas com 25 mL de metanol (MeOH) e extraídos em banho de ultrassônico (Unique® 1400A, São Paulo, SP, Brasil) à temperatura ambiente (25 ° C) durante 60 min, em seguida centrifugados a 10000 RPM por 5 min em centrífuga (Eppendorf MiniSpin Plus, Sigma-Aldrich). Os sobrenadantes recuperados foram usados para avaliar o conteúdo de fenólicos totais e determinar atividade antioxidante da *S. ambigua*.

7.9 Determinação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da *S.ambigua*

O teor de compostos fenólicos totais presentes nas amostras foi determinado utilizando o método *Folin-Ciocalteu* (Singleton; Rossi, 1965). Alíquotas de 100 µL das amostras (extratos) foram transferidos para balões volumétricos de 10 mL, adicionado 2 mL de água desionizada, adicionado 0,5 mL do reativo *Folin-Ciocalteu* e agitados com vigor. Após 30 segundos e antes de 8 minutos adicionado 1,5 mL de carbonato de sódio a 20% m/v, agitado e diluído com água desionizada até completar o volume 10 mL e mantidas em repouso por 2 horas ao abrigo de luz a temperatura ambiente (25° C) e na sequência transferida para cubetas de 10 mm, e as leituras realizadas em absorvâncias de 765 nm, usando um espectrofotômetro (Hewlett-Packard, HP 8452A Cheadle Heath, Stockport Cheshire, UK). Os valores são expressos em miligramas de ácido gálico equivalente por 100g⁻¹ de matéria fresca (mg EAG 100g⁻¹ MF).

A atividade antioxidante foi mensurada pelo método de sequestro do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH), seguindo a metodologia (Brand-Williams et al., 1995). Uma solução de metanol (MeOH) 0,01 µmol L⁻¹ foi preparada, em seguida pipetados 2,9 mL da solução em cubetas de vidro. Este processo foi realizado em triplicatas por tratamento, lidos a uma absorvância de 515nm no t=0, usando um espectrofotômetro (Hewlett Packard, modelo HP 8452A, Cheadle Heath, Stockport Cheshire, Reino Unido). O extrato da planta foi então adicionado as cubetas (100 µL) homogeneizados e incubadas ao abrigo de luz por 30 minutos, à temperatura ambiente (25° C) a absorvância foi novamente medida a 515 nm. e a atividade antioxidante expressa em

μmol de capacidade antioxidante equivalente ao Trolox por 100 g^{-1} de matéria fresca ($\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$) (Bertin et al., 2014).

7.10 Análise estatística

Para os dados de qualidade de água foi aplicado ANOVA unifatorial com medidas repetidas, suplementados pelo teste de Newman-Keuls de separação de médias, quando necessário. Para os dados zootécnicos, recuperação de nitrogênio, produtividade da planta, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante foram aplicados ANOVA unifatorial. Homocedasticidade e normalidade foram analisadas pelos testes de Levene e Shapiro-Wilk. Todos os testes utilizaram um nível de significância de 5% ($p < 0,05$).

8. Resultados

8.1 Parâmetros de qualidade de água

As variáveis de qualidade de água estão apresentadas na Tabela 1. O oxigênio dissolvido e a temperatura não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Alcalinidade, pH, ortofosfato e sólidos suspensos totais não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. Contudo amônia (Fig. 2a), nitrito (Fig. 2b), nitrato (Fig. 2c) e salinidade (Fig. 2d) apresentaram apenas diferenças significativas em função das semanas.

Tabela 1.

Parâmetros de qualidade da água em cultivo aquapônico de *S. ambigua* com *L. vannamei*, submetidas a diferentes períodos irrigação contínuos diários.

Parâmetros	Tratamentos				Anova	
	6 h	12h	18h	24h	T	S
OD (mg L ⁻¹)	6,0±0,1 (4,8–7,8)	5,9±0,1 (4,9–7,6)	6,0±0,1 (5,0–7,8)	6,1±0,1 (4,9–7,3)	ns	ns
Temperatura (°C)	28,5±0,4 (23,3–30,7)	28,7±0,4 (24,6–30,8)	28,6±0,6 (24,6–30,9)	28,0±0,6 (24,4–30,4)	ns	ns
Alcalinidade (mgCaCO ₃ L ⁻¹)	141±2,8 (104–196)	147±7,0 (112–192)	151±3,1 (124–192)	144±3,7 (116–184)	ns	ns
pH	8,15±0,1 (7,84–8,53)	8,09±0,1 (7,86–8,33)	8,16±0,1 (7,32–8,35)	8,19±0,1 (7,87–8,37)	ns	ns
Salinidade (g L ⁻¹)	33±2,6 (31–40)	36±1,4 (33–40)	35±0,7 (32–39)	36±1,0 (33–41)	ns	*
Amônia N-NH ₄ (mgL ⁻¹)	0,4±0,1 (0,1–1,0)	0,4±0,1 (0,2–1,1)	0,4±0,1 (0,2–1,5)	0,3±0,1 (0,0–0,9)	ns	*
Nitrito N-NO ₂ (mgL ⁻¹)	0,5±0,1 (0,2–1,3)	0,6±0,1 (0,2–1,5)	0,6±0,1 (0,2–1,4)	0,5±0,1 (0,2–1,4)	ns	*
Nitrato N NO ₃ (mgL ⁻¹)	19,3±0,6 (8,8–28,2)	18,6±0,7 (10,5–26,8)	17,5±1,9 (5,2–33,4)	16,8±1,6 (7,4–28,2)	ns	*
Ortoforfato P-PO ₄ ³⁻ (mgL ⁻¹)	2,3±0,1 (1,1–2,8)	2,5±0,1 (1,6–3,6)	2,5±0,2 (1,6–3,4)	2,5±0,1 (1,9–3,2)	ns	ns
Sólidos Suspensos Totais (SST) (mgL ⁻¹)	402±23,8 (258–508)	410±26,9 (242–483)	401±19,5 (302–452)	403±36,9 (291–479)	ns	ns

Dados médios ± desvio padrão (máximo e mínimo), n = 3.

ANOVA com medidas repetidas, T (tratamentos), S (semanas)

ns: não significativo, * significativo.

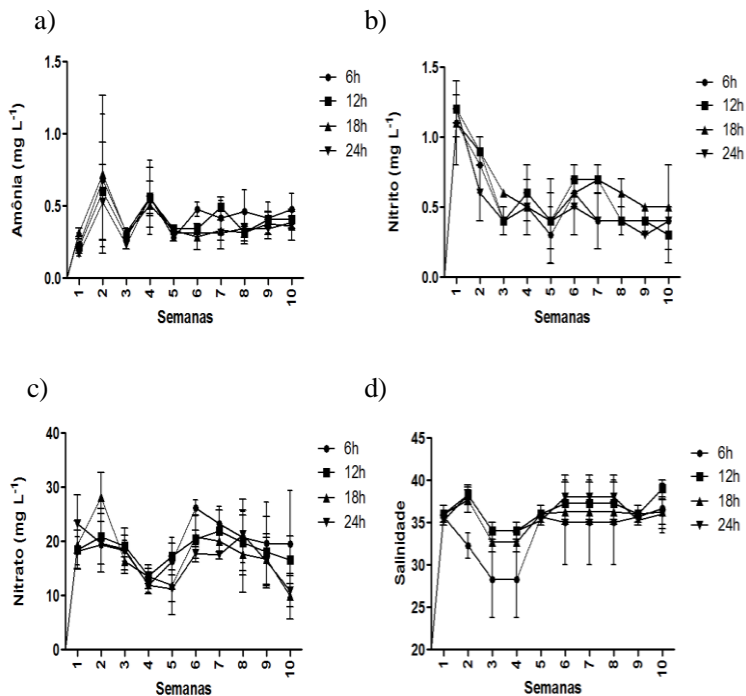


Fig.2. a) Amônia, b) Nitrito, c) Nitrato, d) Salinidade em cultivo aquapônico de *S. ambigua* com *L. vannamei*, submetidos a diferentes períodos irrigação contínuos diários.

8.2 Índices zootécnicos dos camarões e produtividade da *S. ambigua*

Não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para o desempenho zootécnico dos camarões (Tabela 2).

Tabela 2

Índices zootécnicos do *L. vannamei* em cultivo aquapônico de *S. ambigua* com *L. vannamei*, submetidas a diferentes períodos de irrigação contínuos diários.

	Tratamentos			
	6 h	12h	18h	24h
Peso médio final (g)	11,0±1,7	11,1±1,2	11,2±1,4	10,9±0,9
Ganho de peso semanal (g)	0,8±0,2	0,8±0,1	0,8±0,1	0,8±0,1
Biomassa final (g m ⁻³)	2369,6± 416,3	2398,5± 221,4	2381,0± 212,6	2364,1± 98,5
Sobrevivência (%)	86,0±3,0	87,2±11,0	85,2±2,8	87,3±5,5
Fator de conversão alimentar	1,8±0,3	1,7±0,2	1,7±0,2	1,7±0,1
Ganho de biomassa (g)	1893,3± 333,0	1916,4± 177,1	1902,4± 170,1	1888,9± 78,8

Dados médios ± desvio padrão

Os dados de produtividade, relação planta/camarão⁻¹ estão apresentados na (Tabela 3). Não foram encontradas diferenças significativas para os índices de produtividade entre os tratamentos.

Tabela 3

Biomassa, produtividade, peso médio final e relação planta/camarão⁻¹ da *S. ambigua* em cultivo aquapônico de *S. ambigua* com *L. vannamei*, submetidas a diferentes períodos de irrigação contínuos diários.

	Tratamentos			
	6h	12h	18h	24h
Biomassa total (kg)	0,8±0,1	0,5±0,2	0,7±0,1	0,4±0,2
Produtividade (kg/m ²)	1,9±0,1	1,2±0,4	1,7±0,4	1,1±0,4
Peso médio final (g)	19,0±1,0	11,7±4,2	16,7±3,6	10,8±4,3
Relação planta/camarão ⁻¹ (kg)	0,3±0,1	0,2±0,1	0,3±0,1	0,2±0,1

Dados médios ± desvio padrão

8.3 Recuperação do nitrogênio da ração

A porcentagem de nitrogênio total presente na *S. ambigua*, no *L. vannamei* e na ração ao final do experimento foi de 0,4%, 2,7% e 5,6% respectivamente. Durante o período experimental foram adicionados $3252 \pm 0,1$ g de ração por unidade experimental o que corresponde a $185,0 \pm 0,1$ g de nitrogênio por unidade experimental. Não houveram diferenças significativas entre os tratamentos 6 h, 12 h, 18 h e 24 horas com irrigação (Tabela 4).

Tabela 4

Recuperação do nitrogênio da ração em cultivo aquapônico de *S. ambigua* com *L. vannamei*, submetidas a diferentes períodos de irrigação contínuos diários.

Recuperação do N (%)	Tratamentos			
	6 h	12h	18h	24 h
<i>S. ambigua</i>	1,6 \pm 0,1	1,0 \pm 0,3	1,5 \pm 0,3	0,9 \pm 0,4
<i>L. vannamei</i>	28,1 \pm 5,1	27,9 \pm 3,1	28,3 \pm 2,6	28,8 \pm 1,4
Total recuperado	29,7 \pm 5,1	29,0 \pm 2,8	29,8 \pm 2,3	29,7 \pm 1,4

Dados médios \pm desvio padrão

8.4 Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da *S. ambigua*

Para os compostos fenólicos totais houve diferença significativa entre os tratamentos. A atividade antioxidante também apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5

Concentração de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante nas plantas em cultivo aquapônico de *S. ambigua* com *L. vannamei*, submetidas a diferentes períodos de irrigação contínuos diários.

	Tratamentos			
	6h	12h	18h	24h
Compostos fenólicos totais (mg EAG 100g ⁻¹ MF)	42,6 \pm 1,1 ^a	48,4 \pm 1,8 ^b	42,6 \pm 1,3 ^a	47,7 \pm 1,6 ^b
Atividade antioxidante (μ mol TEAC 100 g ⁻¹ MF)	29,9 \pm 0,8 ^a	41,3 \pm 0,6 ^b	31,1 \pm 1,5 ^a	42,7 \pm 0,8 ^b

Dados médios \pm desvio padrão. Letras diferentes na mesma linha indicam diferenças significativas ANOVA ($p < 0,05$). EAG: Equivalente de ácido gálico TEAC: Atividade antioxidante equivalente ao trólox.

9. Discussão

9.1 Parâmetros de qualidade de água

A concentração de oxigênio dissolvido, temperatura, pH, salinidade e alcalinidade estiveram dentro dos valores considerados apropriados para o cultivo do *L. vannamei* em sistema BFT (Ray et al., 2010; Van Wyk; Scarpa, 1999). A salinidade do tratamento 6 horas apresentou menor concentração entre algumas semanas do cultivo. Isto pode ter ocorrido devido à evaporação dentro da estufa, sendo necessário uma vez por semana realizar reposição do volume evaporado com água doce. Durante o processo, nas semanas 3 e 4 foi reposta mais água doce do que o necessário, o que reduziu a salinidade nas unidades experimentais desse tratamento.

Os sólidos suspensos totais mantiveram-se em todos os tratamentos próximos aos níveis recomendáveis para a espécie do *L. vannamei* 400 mg⁻¹ (Schweitzer et al., 2013), não havendo a necessidade de remoção de sólidos do cultivo. Cada unidade experimental possuía um decantador, que liberava o lodo do fundo a cada sessenta minutos, ocorrendo uma quebra das partículas de sólidos pela bomba centrífuga de sucção. Além disso havia muita retenção de sólidos nas calhas das bancadas hidropônicas na zona das raízes das plantas, fazendo com que houvesse um equilíbrio na concentração de sólidos suspensos totais na água do sistema (Rakocy, 2012; Ray et al., 2010). Segundo Rakocy (2012) a matéria orgânica que fica retida nas calhas e raízes das plantas pode ser benéfica para as plantas, pois o processo de decomposição dos sólidos pode liberar nutrientes inorgânicos essenciais ao seu crescimento.

Em todos os tratamentos à variação da amônia, nitrito e nitrato apresentaram padrões parecidos. As concentrações de amônia e nitrito permaneceram baixas durante todo o cultivo. As concentrações de amônia mantiveram-se estáveis nas primeiras três semanas de cultivo. Na semana quatro e cinco apresentaram uma pequena elevação e posteriormente ficando, estável até o fim do cultivo. Os níveis de nitrito avaliados seguros para o *L. vannamei* em salinidade 35 mg L⁻¹ são de 25,7 mg L⁻¹ (Lin et al., 2003), bem acima dos registrados nos tratamentos. Os valores de nitrato registrados em todos os tratamentos estiveram dentro dos níveis considerados adequados para o *L. vannamei* (Kuhn et al., 2010). O nitrato oscilou entre os tratamentos, apresentando uma queda na semana quatro e cinco de cultivo, fato esse podendo estar

relacionado à ocorrência de desnitrificação no sedimentador e uma possível redução do processo de nitrificação (Ray et al, 2011), uma vez que em altas salinidades *S. ambigua* tem preferência pela amônia.

Segundo Quintã et al. (2015) *Salicornia* e *Sarcocornia* podem utilizar nitrato tanto quanto amônia como fonte de nitrogênio, variando suas preferências de acordo com a salinidade do ambiente. Quando expostas a salinidades nas concentrações da água do mar ou superiores, o uso da amônia é priorizado, já em baixas salinidades o nitrato é melhor absorvido (Kudo; Fujiyama, 2010; Quintã et al., 2015). Sendo assim todas as condições experimentais levaram a *Sarcocornia* ter apresentado preferência pelo NH_4 devido às salinidades do experimento.

Com respeito ao ortofosfato foram encontrados valores bem próximos aos descritos por Schneider (2007) em cultivo com sistema de bioflocos. Segundo Buhmann et al. (2015) valores maiores que $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ de P-PO_4^{3-} são aceitáveis para o crescimento de várias espécies de halófitas, portanto os valores alcançados no sistema não interferiu no crescimento das plantas. Entretanto, a concentração de nutrientes dissolvidos no cultivo parece que não foi alterada como efeito secundário da redução do período de irrigação nas plantas. Os resultados indicam que apenas 6 h de irrigação diária não foi limitante para a absorção de nutrientes pelas plantas.

9.2 Índices zootécnicos dos camarões e produtividade da *S. ambigua*

O peso médio final do *L. vannamei* obtido no experimento, foi próximos a valores encontrados por Baloi et al. (2013) em sistema de bioflocos. O ganho de peso semanal, sobrevivência e fator de conversão alimentar observadas nos tratamentos estão próximos aos reportados por Schweitzer et al. (2013). Biomassa final e ganho de peso semanal similares foram reportada por Ray et al. (2011). Isso demonstra que o sistema aquapônico adaptado com diferentes intervalos de irrigação não produziu efeito deletério ou benéfico sobre o crescimento e a sobrevivência dos camarões.

Ao final do período experimental, os valores de produtividade de *S. ambigua* estão próximos aos encontrados no Brasil por Izeppi (2011), que obteve produtividade de 2 kg m^{-2} após 150 dias de cultivo irrigados com água de efluentes da carcinicultura. Ventura et al. (2011) encontraram valores superiores, com produtividade de 6 kg m^{-2} em um cultivo hidropônico com água do mar enriquecida com nutrientes. Pinheiro (2015) utilizando as mesmas unidades experimentais obteve

produtividade de 8 kg m⁻² em cultivo aquapônico com o *L. vannamei* em 73 dias de cultivo, sendo que o período experimental ocorreu durante o verão (14 horas claro - 10 horas escuro) onde os dias possuem mais horas de claro. O período experimental deste estudo ocorreu durante o outono, onde as plantas foram submetidas a menos horas de claro (10 horas claro - 14 horas de escuro). Conforme descrito por Ventura et al. (2011) as espécies do gênero *Sarcocornia* e *Salicornia* tem características globais de apresentar baixa produtividade e crescimento lento quando submetidas a dias mais curtos (menos horas de luminosidade).

9.3 Recuperação do nitrogênio da ração

Houve uma recuperação de nitrogênio no sistema semelhante em todos os tratamentos. Valores de nitrogênio na biomassa da *S. ambigua* e *L. vannamei* foram semelhantes aos encontrados na literatura (Bertin et al., 2014; Lu et al., 2010; Silva, 2009). Os resultados obtidos para o nitrogênio recuperado na biomassa de *L. vannamei* são similares aos reportados na literatura em cultivos com camarões marinhos em sistema semi-intensivo (Casillas-Hernandez et al., 2006). *S. ambigua* apresentou uma baixa recuperação do nitrogênio quando comparada com os resultados obtidos por Pinheiro (2015) em sistema de cultivo aquapônico semelhante. A baixa recuperação deve-se a menor produtividade da planta em relação à produtividade obtida por Pinheiro (2015), o que levou a uma menor recuperação do nitrogênio nesse experimento.

9.4 Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da *S. ambigua*

Os valores encontrados para os compostos fenólicos totais nos tratamentos 12 e 24 horas foram superiores aos de 6 e 18 horas. Pinheiro (2015) em regime de irrigação contínua obteve uma concentração de 41,34 mg EAG 100g⁻¹, semelhante aos valores observados neste estudo pra os tratamentos 6 e 18 horas. Os valores encontrados para os tratamentos 12 e 24 horas podem ser comparados aos encontrados na *Suaeda marítima*, *Salicornia europea* e *Atriplex tatarica* com 57,68; 58,20 e 59,40 mg EAG 100g⁻¹ respectivamente (Stanković et al., 2015).

Seguindo a linha dos fenólicos totais as concentrações encontradas para a atividade antioxidante com percentual de inibição do radical DPPH nos tratamentos 6 e 18 horas foram menores que o dos

tratamentos 12 e 24 horas. Esses valores estão dentro dos encontrados na literatura para a *Sarcocornia* e *Salicornia*. Bertin et al. (2014) encontraram valores parecidos para a atividade antioxidante na *S. ambigua* com um percentual de inibição do radical DPPH de 34,64 $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, em plantas cultivadas com efluentes salino da carcinicultura. Pinheiro (2015) reportou valor 38,30 $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ em cultivo aquapônico com a *S. ambigua* e o *L. vannamei*. Este valor é próximo ao encontrado neste estudo em condições experimentais semelhantes para o período de 24 horas de irrigação diária. Essaidi et al. (2013) relatou valor de 53,8 $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ na *Salicornia herbacea*.

Este estudo apresentou baixa produtividade, mas obteve concentrações superiores de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante, em relação a valores encontrados por Pinheiro (2015), que reportou uma produtividade quatro vezes maior que a encontrada em nosso trabalho.

Os valores encontrados para atividade antioxidante da *S. ambigua* estão bem próximo aos encontrados para vegetais folhosos considerados ricos em antioxidantes como, a couve japonesa e a salsinha, que apresentaram 39,07 e 36, 87 $\mu\text{mol TEAC } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ (Khanam et al., 2012).

Os compostos bioativos não seguiram padrão esperado conforme o tempo de irrigação. Geralmente um abastecimento de água reduzido (estresse hídrico) aumenta o conteúdo de fitoquímicos, tais como compostos fenólicos e antocianinas (Dixon; Paiva, 1995). No entanto os tratamentos de 6 e 18 horas com irrigação, apresentaram valores mais baixos em relação aos tratamentos 12 e 24 horas com irrigação.

As variações nos componentes da água do mar, a frequência e a duração da inundação por água salina e o sal presente nas plantas, não só afetam a disponibilidade de oxigênio, mas também influencia a produção de antioxidantes (Ashraf, 2009).

Os tratamentos de 12 e 24 horas com irrigação apresentaram maior taxa de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante. As halófitas são organismos altamente evoluídos e especializados, geralmente se desenvolvem na região litorânea, onde ocorre uma faixa arenosa estreita entre a zona das marés e as dunas, que é frequentemente inundada pela água salgada, ação das ondas e do vento (Boeger; Gluzezak, 2006). Em seu ambiente natural as halófitas estão sujeitas a ações das marés, que alagam e secam o ambiente onde essas plantas vivem, e por não serem plantas aquáticas, essa exposição de 12 e 24 horas à água pode ter gerado um estresse oxidativo na planta, induzindo

a produção de compostos bioativos. Desta forma, pode haver um nível ótimo metabólico em relação ao estresse para a produção de compostos bioativos. Sendo assim, tanto a inundação da zona das raízes por um período contínuo, como o estresse hídrico por 12 horas podem ser fatores que orientam a produção de compostos bioativos nesta espécie.

10. Conclusões

O estresse hídrico alterou a produção de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de *S. ambigua*. Entretanto, não se obteve um padrão de aumento ou redução de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante proporcional ao aumento ou redução do período de estresse hídrico à que as plantas foram submetidas. Os distintos tempos de irrigação não afetaram a qualidade da água para o cultivo de *S. ambigua* e *L. vannamei* em sistema aquapônico, bem como não foram alterados os índices de produção de ambos os cultivos. A retenção de nitrogênio nos organismos cultivados não foi alterada pelo estresse hídrico. Utilizando período de irrigação de 12 horas dia⁻¹ as plantas produzem compostos fenólicos totais e apresentam atividade antioxidante, semelhante às plantas irrigadas de forma contínua. Desta forma, utilizando-se um período de irrigação diária de 12 horas é possível produzir *S. ambigua* e seus compostos bioativos de forma mais eficiente em sistema de cultivo aquapônico com *L. vannamei*.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, M.A., Crespo, M. B., 2008. Taxonomic and nomenclatural notes on south american taxa of *Sarcocornia* (Chenopodiaceae). *Annales Botanici Fennici*, 45, 241-254.
- Aminot, A., Chaussepied, M., 1983. Manuel des analyses chimiques em milieu marin. C.N.E.X.O, Brest, 376.
- AOAC, 2005. Official methods of analysis (18th Ed.). Gaithersburg, Md: Association of official analytical chemists.
- APHA (American Public Health Association), American Water Works Association, Water Pollution Control Association, 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,

- 21st ed. American Public Health Association, Washington, DC, USA.
- Ashraf, M., 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnology Advances*, 27, 84-93.
- Avnimelech, Y., 2004. Intensive shrimp and fish ponds: Where we are and where we are heading. In: The 5th international conference on recirculating aquaculture. Proceedings the 5th international conference on recirculating aquaculture. Virginia: Virginia Tech University, 192-199.
- Baloi, M. et al., 2013. Performance of pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* raised in biofloc systems with varying levels of light exposure. *Aquacultural Engineering*, 52, 39-44.
- Bertin, R.L et al., 2014. Nutrient composition and identification/quantification of major phenolic compounds in *Sarcocornia ambigua* (amaranthaceae) using Hplc–Esi–Ms/Ms. *Food Research International*, 55, 404-411.
- Boeger; M.R.T., Gluzezak, R.M., 2006. Adaptações estruturais de sete espécies de plantas para as condições ambientais da área de dunas de Santa Catarina, Brasil. *Iheringia, Sér. Bot.*, Porto Alegre, 61, 73-82.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., Berset, C., 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie- LWT*, 28, 25-30.
- Buhmann, A. K. et al., 2015. Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. *Agricultural Water Management*, 149, 102-114.
- Buhmann, A. K; Papenbrock, J., 2013. Biofiltering of aquaculture effluents by halophytic plants: Basic principles, current uses and future perspectives. *Environmental and Experimental Botany*, 92, 122-133.

- Casillas-Hernández, R. et al., 2006. Nutrient mass balances in semi-intensive shrimp ponds from sonora, mexico using two feeding strategies: Trays and Mechanical Dispersal. *Aquaculture*, 258, 289-298.
- Cha, J.Y. et al., 2004. Hypocholesterolemic effect of yogurt supplemented *Salicornia herbacea* extracts in cholesterol-fed rats. *Journal Life Sciences*, 14, 747-751.
- Costa, C. S. B. et al., 2006. Effect of ultraviolet-b radiation on salt marsh vegetation: Trends of the genus *Salicornia* along the americas. *Photochemistry and Photobiology*, 82, 878-886.
- Davy, A.J., Bishop, G.F., Mossman, H., Redondo-Gómez, S., Castillo, J.M., Castellanos, E.M., Luque, T., Figueroa, M.E., 2006. Biological flora of the british isles: *Sarcocornia perennis* (Miller) A.J. Scott. *Journal of Ecology*, 94, 1035–1048.
- Diver, S., 2006. Aquaponics-Integration of hydroponics with Aquaculture. ATRRA National Sustainable Agriculture Information Service. National center for appropriate technology, 28.
- Dixon, R. A., Paiva, N. L., 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell*, 7, 1085–1097.
- Essaidi, I., Brahmi, Z., Snoussi, A., Ben H. K. H., Casabianca, H.; Abe, N. et al., 2012. Phytochemical investigation of Tunisian *Salicornia herbacea* L., antioxidant, antimicrobial and cytochrome P450 (CYPs) inhibitory activities of its methanol extract. *Food Control*, 32, 125-136.
- Flowers, T. J., Colmer, T. D., 2008. Salinity tolerance in halophytes*. *New Phytologist*, 179, 945-963.
- Grasshoff, K., Ehrhardt, M., Kremling, K., 1983. Methods of seawater analysis. 2nd Ed. Verlag Chemie, Weinheim.
- Hargreaves, J.A., 2006. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquaculture Engineering*, 34, 344-363.

- Hu, Z. et al., 2015. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology*, 188, 92-98.
- Izeppi, E. M. 2011. Efeito da densidade de plantio na sobrevivência, desenvolvimento e produção de biomassa da halófito *Sarcocornia Ambigua* (Michx.). Alonso & Crespo. 70 P. Dissertação (Mestrado) - Curso De Pós Graduação Em Aquicultura, Instituto De Oceanografia, Universidade Federal Do Rio Grande, Rio Grande. Disponível Em: <http://www.aquicultura.furg.br/images/stories/dissertacoes/izeppi_2011s.pdf>. Acesso Em: 10 Out. 2015.
- Kadereit, G. et al., 2007. A taxonomic nightmare comes true: phylogeny and biogeography of glassworts (*Salicornia* L., Chenopodiaceae). *Taxon*, 56, 1143-1170.
- Khanam, U. K. S. et al., 2012. Phenolic acids, flavonoids and total antioxidant capacity of selected leafy vegetables. *Journal of functional foods*, 4, 979-987.
- Kudo, N., Fujiyama, H., 2010. Responses of halópyte *Salicornia bigelovii* to diferente forms of nitrogen source. *Pedosphere*, 20, 311-317.
- Kuhn D.D., Smith S.A., Boardman G.D., Angier M.W., Marsh, L., Flick J.G.J., 2010. Chronic toxicity of nitrate to Pacific White shrimp, *Litopenaeus vannamei* impacts on survival, growth, antennae length and pathology. *Aquaculture*, 309, 109-114.
- Lee, W.M., Sung, H.J., Jong, C., Cho, J.Y., Park, H.J., Kim, S., Rhee, M.H., 2007. Effects of solvent-extracted fractions from *Salicornia herbacea* on anti-oxidative activity and lipopolysaccharide-induced NO production in marine macrophage RAW264.7 cells. *Journal of Experimental Biomedical Sciences*, 13, 161- 168.
- Lee, Y.S., Lee, S., Lee, H.S., Kim, B-K., Ohuchi, K., Shin, K.H., 2005. Inhibitory effects of isorhamnetin-3-O-β-D-glucoside from *Salicornia herbacea* on rat lens aldose reductase and sorbitol accumulation in streptozotocin-induced diabetic rat tissues. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, 28, 916-918.

- Lennard, W. A., Leonard, B. V., 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (Gravel bed, floating and nutrient film technique) In an aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14, 539-550.
- Lin, Y.F., Jing, S.R., Lee, D.Y., 2003. The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture. *Environ. Pollut*, 123, 107–113.
- Lu, D. et al., 2010. Nutritional characterization and changes in quality of *Salicornia Bigelovii* Torr. During Storage. *Lwt - Food Science and Technology*, 43, 519-524.
- Min, J.G., Lee, D. S., Kim, T. J., Park, J. H., Cho, T. Y., Park, D. I., 2002. Physiological and functional properties of *Salicornia herbacea* (Tungtungmadi) leaf extracts. *Nutraceutical Food*, 7, 62-64.
- Parida, A. K., Das, A. B., 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: a Review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60, 324–34.
- Park, S.H.; Ko, S.K.; Choi, J.G.; Chung, S.H., 2006. *Salicornia herbacea* prevents high fat diet-induced hyperglycemia and hyperlipidemia in ICR mice. *Archives of Pharmacal Research*, 29, 256-264.
- Pinheiro, I. C., 2015. Produção da halófito *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos, Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Aquicultura, Departamento de Aquicultura-Ufsc, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Quintã, R. et al., 2015. Growth and nitrogen uptake by *Salicornia europaea* and *Aster tripolium* in nutrient conditions typical of aquaculture wastewater. *Chemosphere*, 120, 414-421.
- Rakocy, J.E., 2012. *Aquaponics—Integrating fish and plant culture*; Wiley-Blackwell: Hoboken, NJ, Usa, 344–386.

- Ray, A. J. et al., 2010a. Characterization of microbial communities in minimal-exchange, intensive aquaculture systems and the effects of suspended solids management. *Aquaculture*, 310, 130-138.
- Ray, A. J. et al., 2010b. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, 299, 89-98.
- Ray, A. J., Dillon, K. S., Lotz, J. M., 2011. Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive, mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. *Aquacultural Engineering*, 45, 127-136.
- Rodrigues, L.R.F., 2002. Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido, 1º Ed. Funep, Jaboticabal.
- Schveitzer, R. et al., 2013. Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus Vannamei* (biofloc system) at different stocking densities: effects on microbial activity, water quality and production rates. *Aquacultural Engineering*, 54, 93-103.
- Silva, K. R. 2009. Dinâmica do nitrogênio e do fósforo no cultivo superintensivo dos camarões *Litopenaeus vannamei* e *Farfantepenaeus paulensis* sem renovação de água. 68 F. Dissertação (Mestrado) - Curso de pós-graduação em aquicultura, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande. Disponível Em: <http://www.argo.furg.br/bdtd/tde_arquivos/8/tde-2009-08-14t090652z-149/publico/kassio.pdf>. Acesso Em: 12 Out. 2015.
- Schneider, O. et al., 2007. Heterotrophic bacterial production on solid fish waste: tan and nitrate as nitrogen source under practical ras conditions. *Bioresource Technology*, 98, 1924-1930.
- Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal Enology Viticulture*, 16, 144-158.

- Stanković, M. S. et al., 2015. Screening inland halophytes from the central balkan for their antioxidant activity in relation to total phenolic compounds and flavonoids: are there any prospective medicinal plants?. *Journal of Arid Environments*, 120, 26-32.
- Türkan, I., Demiral, T., 2009. Recent developments in understanding salinity tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 67, 2-9.
- Tyson, R.V., Treadwel, D. D., Simonne, E. H., 2011. Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic system. *Hort Technology*, 21, 1-13.
- Van Wyk, P., Scarpa, J., 1999. Water quality requirements and management. In: Van Wyk, P., Davis-Hodgkins, M., Laramore, R., Main, K.L., Scarpa, J. (Eds.), *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*. Florida department of agriculture and consumer services, Tallahassee, Fl, 128–138.
- Ventura, Y. et al., 2011. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. *Scientia Horticulturae*, 128, 189-196.
- Zhu, J.K., 2001. Plant salt tolerance. *Trends Plant Science*, 6, 66-71.

12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

S. ambigua se mostrou com potencial em produção aquapônica com camarão branco em período de irrigação diário de 12 horas. Porém apresentou uma baixa produtividade de planta em relação a trabalhos anteriores, fato esse que pode ter decorrido em função da estação do ano, com menos luminosidade. Contudo futuros estudos com tempos diferentes de irrigação diária, em diferentes épocas do ano são promissores. Sob essa perspectiva, podem ser realizados estudos para avaliar se a disponibilidade de água, em determinados horários do dia afetaria a fisiologia da planta causando um maior estresse oxidativo para as mesmas, como por exemplo, deixar essa planta sem disponibilidade de água durante o período de sol (diurno) e vice-versa. Com os resultados obtidos referentes aos horários de irrigação pode-se levar em consideração a diminuição do número de horas de bombeamento de água em um cultivo aquapônico. As concentrações de antioxidante foram próximas às encontradas em vegetais folhosos considerados ricos em antioxidantes, caracterizando esta planta como alimento funcional, importante para saúde humana.

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO

- ALONSO, M.A., CRESPO, M. B. Taxonomic and nomenclatural notes on South American taxa of *Sarcocornia* (Chenopodiaceae). **Annales Botanici Fennici**, v. 45, p. 241-254, 2008.
- AVNIMELECH, Y. Biofloc Technology (2nd Edn). **World Aquaculture Society**, Baton Rouge, LA, 2012.
- AZIM, M. E., LITTLE, D. C. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture**, v. 283, p.29-35, 2008.
- BERTIN, R. L. et al. Nutrient composition and, identification/quantification of major phenolic compounds in *Sarcocornia Ambigua* (Amaranthaceae) using Hplc–Esi–Ms/Ms. **Food Research International**, v.55, p, 404-411, 2014.
- BETORET, E., BETORET, N., VIDAL, D., FITO, P. Functional foods development. Trends and technologies. **Trends in Food Science & Technology**, v. 22, p. 498–508, 2011.
- BIGLIARDI, B., GALATI, F. Innovation trends in the food industry. The case of functional foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 31, p.118–129, 2013.
- BROWDY, C.L., BRATVOLD, D., STOKES, A.D., MCINTOSH, R.P. Perspectives on the applications of closed shrimps culture systems, in: Browdy, C.L., Jory, D.E (Eds), *The New Wave*, Proceedings of the special session on sustainable shrimp culture. **The world aquaculture society**, Baton Rouge, L.A, USA, p. 20-44, 2001.
- BURFORD, M. A., THOMPSON, P. J., MCINTOSH, R. P., BAUMAN, R. H., PEARSON, D. C. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. **Aquaculture**, v. 232, p.525-537, 2004.

CALHEIROS, C. S.C., et al. Use of constructed wetland systems with *Arundo* and *Sarcocornia* for polishing high salinity tannery wastewater. **Journal of Environmental Management**, v. 95, p.66-71, 2012.

CHA, J.Y. et al. Hypocholesterolemic effect of yogurt supplemented *Salicornia herbacea* extracts in cholesterol-fed rats. **Journal Life Sciences**, v. 14, p. 747-751, 2004.

COSTA, C. S. B. et al. Effect of Ultraviolet-B Radiation on Salt Marsh Vegetation: Trends of the Genus *Salicornia* along the Americas. **Photochemistry and Photobiology**, v. 82, p.878-886, 2006.

CRAB, R., AVNIMELECH, Y., DEFOIRDT, T., BOSSIER, P., VERSTRAETE, W. Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. **Aquaculture**, v. 270, p. 1-14, 2007.

ESSAIDI, I., BRAHMI, Z., SNOUSSI, A., BEN H. K. H., CASABIANCA, H., ABE, N. et al. Phytochemical investigation of Tunisian *Salicornia herbacea* L., antioxidant, antimicrobial and cytochrome P450 (CYPs) inhibitory activities of its methanol extract. **Food Control**, v.32, p.125-136, 2012.

FAO (Food and Agriculture Organization of United Nations). Seção Fisheries and Aquaculture Department. **Roma SOFIA**. 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>. Acesso em: 08/12/2015.

FLOWERS, T.J., COLMER, T.D. Salinity tolerance of halophytes. **New Phytologists**, v.179, p.945-963, 2008.

GIOVANELLI, G., BURATTI, S. Comparison of polyphenolic composition and antioxidant activity of wild italian blueberries and some cultivated varieties. **Food Chemistry**, v. 112, p. 903-908, 2009.

GRABER, A; JUNGE, R. Aquaponic Systems - Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. **Desalination**, v. 246, p.147-156, 2009.

GÜLÇİN, I. Antioxidant activity of food constituents: Na Overview. **Archives of Toxicology**, v. 86, p. 345-391, 2012.

HARGREAVES, J.A. Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. **Aquacultural Engineering**, v.34, p. 344 – 363, 2006.

HARI, B. et al. Effects of carbohydrate addition on production in extensive shrimp culture systems. **Aquaculture**, v. 241, p. 179-194, 2004.

JANG, HYUN-SEO et al. Antioxidant and antithrombus activities of enzyme-treated *Salicornia herbacea* extracts. **Annals of nutrition and metabolism**, v. 51, p.119-125, 2007.

JEONG, C.Y., RYU, J.S., CHOI, C.K., JEON, B.S., PARK, J.W., SHIN, G.G. Supplemented effect of *Salicornia herbacea* extract powder on preparation and quality characteristics of fermented milk product. **Journal of Life Sciences**, v.14, p. 788–793, 2004.

KHAN, R. S., GRIGOR, J., WINGER, R., WIN, A. Functional food product development. opportunities and challenges for food manufacturers. **Trends in Food Science & Technology**, v. 30, p. 27–37, 2013.

KHATER, E.G., ALI, S.A. Effect of flow rate and length of gully on lettuce plants in aquaponic and hydroponic systems. **J. Aquacult. Res.**, v. 06, n. 03, p.1-5, 2015.

KSOURI, R., MEGDICHE, W., FALLEH, H., TRABELSI, N., BOULAABA, M., SMAOUI, A. et al. Influence of biological, environmental and technical factors on phenolic content and antioxidant activities of tunisian halophytes. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, p. 865–87, 2008.

LEE, C.S. Aquaponics - An integrated fish culture and vegetable hydroponics production system. www.growingedge.com, 2004.

LEE, J.T., JEONG, Y.S., AN, B.J. Physiological activity of *Salicornia herbacea* and its application for cosmetic materials. **Korean Journal Herbal**, v. 17, p. 51 – 60, 2002.

LEE, W.M., SUNG, H.J., JONG, C., CHO, J.Y., PARK, H.J., KIM, S., RHEE, M.H. Effects of solvent-extracted fractions from *Salicornia herbacea* on anti-oxidative activity and lipopolysaccharide-induced NO

production in murine macrophage RAW264.7 cells. **Journal of Experimental Biomedical Sciences**, v. 13, p. 161- 168, 2007.

LEE, Y.S., LEE, S., LEE, H.S., KIM, B-K., OHUCHI, K., SHIN, K.H. Inhibitory effects of isorhamnetin-3-O- β -D-glucoside from *Salicornia herbacea* on rat lens aldose reductase and sorbitol accumulation in streptozotocin-induced diabetic rat tissues. **Biological & Pharmaceutical Bulletin**, v. 28, p. 916-918, 2005.

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**, 14, 539-550,2006.

LIN, Y.F., JING, S.R., LEE, D.Y. The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture. **Environ. Pollut.** v.123, p.107–113, 2003.

LIN, Y.F., JING, S.R., LEE, D.Y., CHANG, Y.F., CHEN, Y.M., SHIH, K.C. Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. **Environ. Pollut.** 134, 411–421, 2005.

LU, Z., HODGES, R.M., MOTA-URBINA, C.J., GALLAWA, P.L., CHATURVEDI, R., DECIANNE, D.M., GLENN, E.P., HODGES, C.N. *Salicornia bigelovii* (Chenopodiaceae)—a seawater irrigated crop with versatile commercial products. In: **The 5th New Crops Symposium** , Atlanta, Georgia, 2001.

MAGGIO, A., DE PASCALE, S., FAGNANO, M., BARBIERI, G. Saline agriculture in Mediterranean environments. **Italian Journal of Agronomy.** v. 6, p.36–43, 2011.

MENG, J. F., FANG, Y. L., QIN, M. Y., ZHUANG, X. F., ZHANG, Z. W. Varietal differences among the phenolic profiles and antioxidant properties of four cultivars of spine grape (*Vitis davidii* foex) in chongyi county (China). **Food Chemistry**, v. 134, p. 2049–2056, 2012.

MEOT-DUROS, L., LE F. G., MAGN E, C. Radical scavenging, antioxidant and antimicrobial activities of halophitic species. **J. Ethnopharmacol.** v.116, p.258-262,2008.

MIN, J.G., LEE, D. S., KIM, T. J., PARK, J. H., CHO, T. Y., PARK, D. I. Physiological and functional properties of *Salicornia herbacea* (Tungtungmadi) leaf extracts. **Nutraceutical Food**, v. 7, p. 62-64, 2002.

NAVARRO, J.M., FLORES, P., GARRIDO, C., MARTINEZ, V. Changes in the contents of antioxidants compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. **Food Chem.** v. 96, p. 66-73, 2006.

OKIMOTO, D.K. Aquaponics export conducts workshops in American Samoa. www.aginclassroom.org. 2004.

PARK, S.H.; KO, S.K.; CHOI, J.G.; CHUNG, S.H. *Salicornia herbacea* prevents high fat diet-induced hyperglycemia and hyperlipidemia in ICR mice. **Archives of Pharmacal Research**, v. 29, p. 256-264, 2006.

PINHEIRO, I. C. Produção da halófito *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos, Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Aquicultura, Departamento de Aquicultura, **Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis, 2015.

RAKOCY, J. E.; HARGREAVES, J. A. Integration of vegetable hydroponics with fish culture: a review. In.: Tecniques for Modern Aquacultura - **Aquacultural Engineering Conference**, Spokane. Proceedings... Spokane: ASAE, p.112-36, 1993.

RAKOCY, J.E. Aquaponics - vegetable hydroponics in recirculating systems, 2002.

RAKOCY, J.E. Aquaponics -Integrating Fish and Plant Culture; In: TIDWELL, J. H. (Ed.). **Aquaculture Production Systems**. 1. Ed. Oxford: Wiley-Blackwell, p. 344–386, 2012.

ROBERFROID, M. B. Inulin-type fructans: Functional food ingredients. **The Journal of Nutrition**, v.137, p.2493–2502, 2007.

SELMAR, D., KLEINWÄCHTER, M. Influencing the product quality by deliberately applying drought stress during the cultivation of medicinal plants. **Ind. Crop. Prod.**, v. 42, p.558-566, 2013.

SELOCK, D. An introduction to aquaponics: the symbiotic culture of fish and plants. www.Siu.Edu/-readi, 2003.

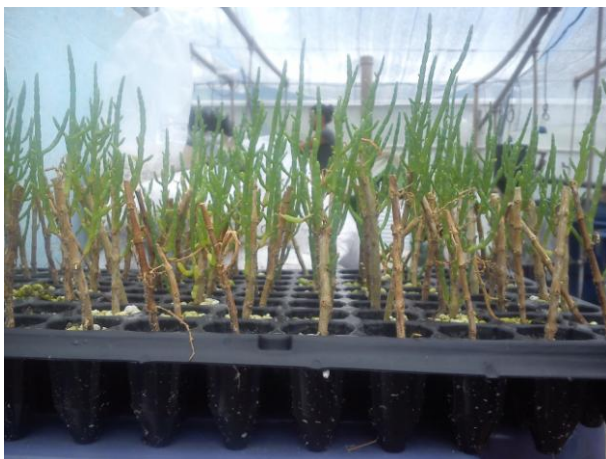
TAW, N. Biofloc technology expanding at white shrimp farms biofloc systems deliver high productivity with sustainability. **Global Aquaculture Advocate**, v. 2, p. 20–22, 2010.

VENTURA, Y., WUDDINEHA, W.A., MYRZABAYEVAB, M., ALIKULOV, Z., KHOZIN-GOLDBERGA, I., SHPIGELC, M., SAMOCHAD, T.M., SAGIA, M. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. **Scientia Horticulturae**, v.128, p.189–196, 2011.

XIONG, L., SCHUMAKER, K.S., ZHU, J.K. Cell signaling during cold, drought, and salt stress. **Plant Cell** v.14, p.165-183, 2002.

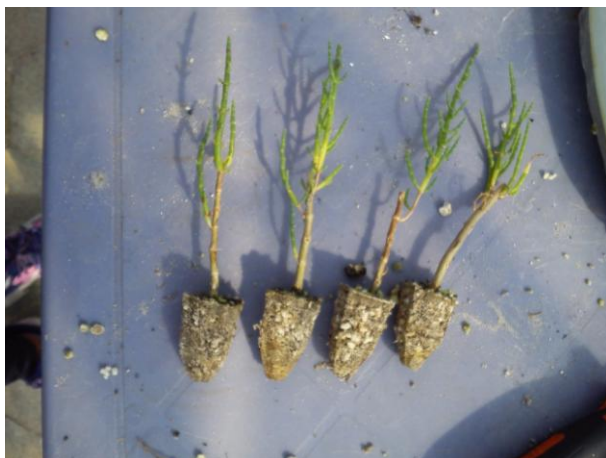
ANEXO I.

Mudas de *Sarcocornia ambigua* utilizadas para o experimento.



ANEXO II

Mudas de *Sarcocornia ambigua* com substrato usado para estrutura aquapônica.



ANEXO III

Bancada aquapônica com mudas *Sarcocornia ambigua* no primeiro dia de experimento.



ANEXO IV

Bancada aquapônica com *Sarcocornia ambigua* na última semana de experimento.



ANEXO V

Sarcocornia ambigua retirada do sistema de cultivo no ultimo dia de experimento.



ANEXO VI

Retenção de sólidos nos canais de distribuição de água



ANEXO VII

Visão panorâmica da estufa do experimento com as unidades experimentais.

