

Leonardo Castilho de Barros

**VIABILIDADE ECONÔMICA E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA PRODUÇÃO DO *Litopenaeus vannamei* E *Sarcocornia ambigua* EM AQUAPONIA COM BIOFLOCO**

Tese apresentada ao Pós-Graduação em Aquicultura, da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Aquicultura.

**Orientador:** Prof. Walter Quadros Seiffert, Dr.

Florianópolis  
2018

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

Castilho-Barros, Leonardo

Viabilidade econômica e avaliação do ciclo de vida da produção do *Litopenaeus vannamei* e *Sarcocornia ambigua* em aquaponia com biofloco / Leonardo Castilho-Barros ; orientador, Walter Quadros Seiffert, 2018.

125 p.

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

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. Impacto ambiental. 3. Custos econômicos. 4. Sistemas multitróficos. 5. Viabilidade financeira. I. Seiffert, Walter Quadros . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura. III. Título.

**Viabilidade econômica e avaliação do ciclo de vida da produção do *Litopenaeus vannamei* e *Sarcocornia ambigua* em aquaponia com biofloco**

Por

LEONARDO CASTILHO DE BARROS

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de

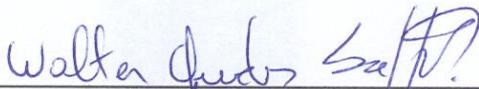
**DOUTOR EM AQUICULTURA**

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

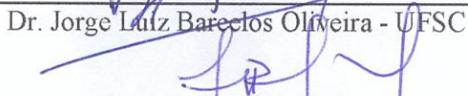
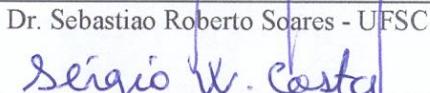
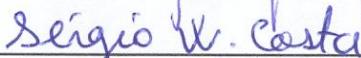


\_\_\_\_\_  
Profa. Leila Hayashi, Dra.  
Coordenadora do PPG em Aquicultura

Banca Examinadora:



\_\_\_\_\_  
Dr. Walter Quadros Seiffert - *Orientador*

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Jorge Luiz Baretos Oliveira - UFSC  
\_\_\_\_\_  
Dr. Sebastiao Roberto Soares - UFSC

\_\_\_\_\_  
Dr. Sérgio Winckler da Costa - EPAGRI



*Dedico essa obra, com muito carinho,  
a meus pais Júlio Alves de Barros Jr.  
(in memmorian), Celi Maria Castilho  
Pereira de Barros e irmãs Gláucia e  
Patrícia Castilho de Barros.*



## AGRADECIMENTOS

A meus amados pais Júlio Alves de Barros Júnior (*in memmorian*) e Celi Maria Castilho Pereira de Barros, e queridas irmãs Gláucia Castilho de Barros e Patrícia Castilho de Barros, por todo carinho e pela compreensão da minha ausência.

A Dra. Adriana Carravieri de Almeida, a quem devo profundos agradecimentos pela oportunidade dada a mim.

A Vera Maria Patti Costa (Madrinha), Narendra Fernandes Costa (Padrinho) e família e a Creusa Monteiro Pereira (Tia) e Célio Castilho Pereira (Tio *in memmorian*) por todo o apoio, incentivo e carinho.

A Suzana Xavier (Tictii), que me trouxe sorte quando do envio da proposta para esse doutorado.

A Gabriela Lindenberg, Yuri Gauglitz Gatto e Pedro Lindenberg, pela ajuda, companheirismo e principalmente por me fazer lembrar da minha querida cidade Pariquera-Açu/SP.

A Dona Zeni Maria de Oliveira da Cunha e família, pelo carinho e atenção para comigo. Tive a grande sorte de tê-los por perto na minha passagem por Florianópolis.

Ao meu orientador Walter Quadros Seiffert, pelos ensinamentos, companheirismo e pelo aceite do desafio em me orientar, mas acima de tudo, pela amizade e direcionamentos que refletirão na minha vida como profissional. Profissional a quem tenho profundo respeito e admiração pela carreira e conduta. Meu muito obrigado.

A todos os colegas de laboratório (Laboratório de Camarões Marinhos) e em especial aos colegas do grupo de estudos em aquaponia marinha, Isabela Claudiana Pinheiro, Efrayn Wilker, Gabriela Bezerra, Joaquim Soares Neto e Ramón Felipe Carneiro.

A Carlos Manoel do Espírito Santo, por todas as conversas e principalmente pela ajuda nas informações sobre o Laboratório enquanto ainda me encontrava em Santos/SP.

A Lucas Gomes Mendes pela parceria e amizade nesses anos de doutoramento.

A Davi Grapp, Ilson Grapp, Dimas Dilmo Ramos e Diego “Tea” por todas as conversas sobre assuntos aleatórios, mas principalmente por todo conhecimento transferido sobre bioflocos. Pessoas da melhor qualidade e a quem devo os mais profundos agradecimentos.

A querida amiga Andréia (*Déia*), a quem devo agradecimentos pelas conversas, pela simpatia e pelo maravilhoso café matinal.

A Carlos Miranda, pelos ensinamentos quanto a manutenções, afazeres práticos na rotina de cultivo e pelo companheirismo do dia a dia.

Aos colegas de Pós-Graduação, por todas as discussões étlicas e momentos de desestresses.

A Nathália Ferreira Looks e Hortência Ventura da Silva pela inestimada ajuda nas qualidades de água do experimento com probiótico.

A amiga Priscila Costa Rezende Rodrigues pela ótima energia e sorriso que sempre fui recebido.

Aos amigos Thiago Gil dos Santos e Marco Shizou Owatari, pelos ricos conhecimentos passados durante profundas e étlicas reflexões.

A Pâmela Dall Asta pela parceria, momentos de descontração e pelas traduções de texto (que me tirou do sufoco!!!).

Ao Professor Dr. Sebastião Robertos Soares e colegas do Grupo de Pesquisa em Ciclo de Vida (CICLOG) pela receptividade e ensinamentos na Avaliação do Ciclo de Vida. Meus sinceros agradecimentos.

Ao amigo José Luiz Pedreira Mouriño por todas as conversas, aconselhamentos, parcerias acadêmicas e ajuda/incentivo para a continuação na caminhada dos estudos de viabilidade econômica.

Aos queridos Maiara Rodrigues Manoela Beber, Felipe Junqueira e André Luís Ferreira Lima (*Murotte*), a quem posso, com muita alegria, chamar de amigos.

Ao inestimável Carlito Aloisio Klunk, que não poupa esforços para que os pós-graduandos tenham a tranquilidade em exercer um bom trabalho de dissertação e tese.

Ao grande parceiro e participante direto deste estudo, Fábio Higor Almeida, a quem devo agradecimentos pela dedicação, companheirismo e paciência na busca de um *layout* de produção aquapônica. Grande parte dessa conquista é sua também!

Por último, mas não menos especial, a Seu Francisco, “*Seu Chico*” ou “*Cowboy*”, amigo e parceiro nas profundas discussões sobre a nossa “*Salicórnia*”.

E a quem, que de alguma forma, tenha mandado boas vibrações para a boa realização dessa obra e que por ventura não tenha sido aqui citado.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”.  
(Simone de Beauvoir)



## RESUMO

A aquaponia é um sistema de produção de alimentos que integra aquicultura (cultivo de peixe, camarões, etc.) e hidroponia (cultivo de plantas sem solo), onde ambas as práticas agrícolas beneficiam-se mutuamente em uma unidade de produção. Diversos estudos têm sido desenvolvidos no âmbito técnico, socioeconômico e ambiental a fim de atender as premissas de sustentabilidade na produção de alimentos. O objetivo do presente estudo foi avaliar economicamente e ambientalmente a produção aquapônica marinha entre a halófito *Sarcocornia ambigua* e o camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, em escala comercial. Para tanto, utilizou-se a estrutura de custos operacionais e indicadores de viabilidade financeira, calculados com base na elaboração de um fluxo de caixa e, o conceito de Avaliação do Ciclo de Vida dos produtos gerados a fim de identificar os principais processos que mais impactam o ambiente. O empreendimento hipotético proposto teve investimento inicial estimado em US\$ 474,339.73, com Custos Totais de Produção (CTP) anuais na ordem de US\$ 192,220.50 (Ano 1), US\$ 247,740.52 (Anos 2 a 9) e US\$ 223,482.65 (Ano 10). A produção anual da halófito foi de 17.016,82 kg, 23.286,17 kg e 18.808,06 kg, e de 10.659,00 kg, 14.586,00 kg e 11.781,00 kg para o camarão marinho, nos períodos do primeiro ano, segundo ao nono e décimo ano, respectivamente. Com estas produções anuais, obteve-se os CTP de US\$ 4.75 kg<sup>-1</sup>, US\$ 4.03 kg<sup>-1</sup> e US\$ 4.67 kg<sup>-1</sup> (para halófito) e US\$ 10.45 kg<sup>-1</sup>, US\$ 14.43 kg<sup>-1</sup> e US\$ 11.52 kg<sup>-1</sup> (para o camarão) nos referidos anos. Ao se tratar dos impactos ambientais estimados para a produção de 1 tonelada da *S. ambigua* e 626 kg do camarão como coproduto (Unidade Funcional), obteve-se a demonstração de que o sistema é altamente dependente do processo de “Energia elétrica”, sendo esse o maior promotor dos impactos ambientais, gerando 202,84 kg de SO<sub>2</sub> eq. para a categoria Potencial de Acidificação, 65,63 kg de PO<sub>4</sub> eq. para o Potencial de Eutrofização, 43.044,64 kg de CO<sub>2</sub> eq. para o Potencial de Aquecimento Global, demandando 35.542,58 m<sup>2</sup> de Área Ocupada e 1,53 GJ eq. para a Demanda Acumulativa de Energia. Concluiu-se, portanto, que, o sistema de produção aquapônica entre *S. ambigua* e o camarão *L. vannamei* apresenta-se economicamente viável, porém, alternativas de redução ou mitigação dos efeitos danosos ao ambiente devem ser melhor exploradas, principalmente no tocante a dependência de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Aquicultura; Impacto ambiental; Custos econômicos; Sistemas multitróficos; Viabilidade financeira.



## ABSTRACT

Aquaponics is a food production system that integrates aquaculture (fish farming, shrimp, etc) and hydroponics (cultivation of plants without soil), which both agricultural practices benefit each other in one production unit. Several studies have been developed in technical, socioeconomic and environmental scope in order to meet sustainability assumptions in food production. In this context, the objective of the present study was to evaluate economically and environmentally the marine aquaponic production of halophyte *Sarcocornia ambigua* and marine shrimp *Litopenaeus vannamei* in commercial scale. Based on a cash flow and the concept of Life Cycle Assessment of the products generated, operating costs structure and financial viability indicators were used to identify the processes that most affect the environment. The proposed hypothetical project presented an estimated initial investment of US \$ 474,339.73, with annual production costs (APC) of US \$ 192,220.50 (year 1), US \$ 247,740.52 (years 2 to 9) and US \$ 223,482.65 (year 10). In the same period, the annual production of halophyte (17,016.82 kg, 23.286,17 kg and 18808.06 kg) and marine shrimp (10,659.00 kg, 14,586.00 kg and 11,781.00 kg) was monitored. Regarding this production rates, CTPs of US \$ 4.75 kg<sup>-1</sup>, US \$ 4.03 kg<sup>-1</sup> and US \$ 4.67 kg<sup>-1</sup> for halophyte and US \$ 10.45 kg<sup>-1</sup>, US \$ 14.43 kg<sup>-1</sup> and US \$ 11.52 kg<sup>-1</sup> for shrimp were obtained in those years. Considering the estimated environmental impacts for production of 1 ton of *S. ambigua* and 626 kg of shrimp as co-product (Functional Unit), the system is highly dependent on "Electric Energy" process. This dependency is the largest promoter of environmental impacts, generating 202.84 kg of SO<sub>2</sub> eq. for the Potential Acidification category, 65.63 kg PO<sub>4</sub> eq. for the Eutrophication Potential, 43,044.64 kg CO<sub>2</sub> eq. for the Global Warming Potential, demanding 35,542.58 m<sup>2</sup> of Occupied Area and 1.53 GJ eq. for the Cumulative Energy Demand. Therefore, the aquaponic production of *S. ambigua* and *L. vannamei* is economically feasible. However, alternatives for reducing harmful effects on the environment should be studied, especially those related to electric energy dependence.

**Keywords:** Aquaculture; Environmental impacts; Economic costs; Multitrophic systems; Financial viability.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Área de ocorrência natural do camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> .....	24
<b>Figura 2</b> – Fases de uma Análise do Ciclo de Vida (ACV) (Fonte: Norma ABNT ISO 14.040/2009).....	34
<b>Figura 3</b> – Estrutura aquapônica. (1) Escritório, (2) almoxarifado, (3) Setor de berçário, (4) estufa de plantas, (5) Setor de Cultivo, (6) sala de máquinas, (7) tanques de armazenamento, e (8) banco de matrizes da halófito. Área total de 3.500 m <sup>2</sup> . Fonte: Dados da pesquisa. ....	42
<b>Figura 4</b> – Estrutura da Unidade de Produção (UP). Fonte: Dados da pesquisa. ....	44
<b>Figura 5</b> – Análise de sensibilidade para produzir <i>Sarcocornia ambigua</i> e <i>Litopenaeus vannamei</i> em um sistema aquapônico, considerando variações com diferentes taxas percentuais sob preço de ração e sob preço final de venda de camarão (10,00 e 20,00%). Análise de sensibilidade sobre a Taxa Interna de Retorno (a) e Retorno sobre o Capital Investido (b). Fonte: Dados da Pesquisa.....	57
<b>Figura 6</b> – Entradas, saídas e fronteiras do sistema de produção aquapônica entre <i>Sarcocornia ambigua</i> e <i>Litopenaeus vannamei</i> . Fonte: Dados da pesquisa. ....	78
<b>Figura 7</b> – Categorias de impacto e suas contribuições relativas (%) por demanda aplicadas ao sistema aquapônico de produção. Categorias de Impacto: <i>P</i> Ac: Potencial de Acidificação; <i>P</i> Eu: Potencial de Eutrofização; <i>P</i> AG: Potencial de Aquecimento Global; <i>AO</i> : Área Ocupada; <i>DAE</i> : Demanda Acumulada de Energia; Aspectos ambientais: <i>DA</i> : Demanda por Água (Marinha e Doce).....	83
<b>Figura 8</b> – Potencial de Acidificação ( <i>P</i> Ac) para produção de 1 tonelada da halófito <i>Sarcocornia ambigua</i> e 626 kg do camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> produzidos em sistema aquapônico....	84
<b>Figura 9</b> – Potencial de Eutrofização ( <i>P</i> Eu) para produção de 1 tonelada da halófito <i>Sarcocornia ambigua</i> e 626 kg do camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> produzidos em sistema aquapônico....	84
<b>Figura 10</b> – Potencial de Aquecimento Global ( <i>P</i> AG) para produção de 1 tonelada da halófito <i>Sarcocornia ambigua</i> e 626 kg do camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> produzidos em sistema aquapônico. ....	85

<b>Figura 11</b> – Demanda Acumulativa de Energia (DAE) para produção de 1 tonelada da halófito <i>Sarcocornia ambigua</i> e 626 kg do camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> produzidos em sistema aquapônico. ....	86
<b>Figura 12</b> – Representação da área necessária para a produção de uma tonelada da halófito <i>Sarcocornia ambigua</i> de acordo com a metodologia “CML 2 - Baseline 2000 – INRA – CED v1.01.”. (a) Área de 74 m <sup>2</sup> ; (b) Área de 35.542,58 m <sup>2</sup> . ....	87
<b>Figura 13</b> – Demanda por Água Marinha (DAM) para produção de 1 tonelada da halófito <i>Sarcocornia ambigua</i> e 626 kg do camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> produzidos em sistema aquapônico. ....	88
<b>Figura 14</b> – Demanda por Água Doce (DAd) para produção de 1 tonelada da halófito <i>Sarcocornia ambigua</i> e 626 kg do camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> produzidos em sistema aquapônico. ..	88
<b>Figura 15</b> – Análise de sensibilidade usando diferentes períodos de utilização dos aquecedores (6, 9 e 12 horas de uso) por categorias de impacto e suas contribuições relativas (%) de acordo com as demandas aplicadas ao sistema aquapônico de produção. PAC: Potencial de Acidificação; PEu: Potencial de Eutrofização; PAG: Potencial de Aquecimento Global; AO: Área Ocupada; DAE: Demanda Acumulada de Energia. ....	89
<b>Figura 16</b> – Corte longitudinal de uma das estufas de produção aquapônica. 1- Unidade de produção (UP); 2 – Tanque de passagem (TP); 3 – Biodigestor (Desnitrificador); 4 – Banco de matrizes da <i>Sarcocornia ambigua</i> . Fonte: Dados da pesquisa. ....	121
<b>Figura 17</b> – Corte transversal de uma das estufas de produção aquapônica. 1- Unidade de produção (UP); 2 – Sistema de aeração; 3 – Decantador (Sedimentador); 4 – Biodigestor (Desnitrificador); 5 – Tanque de passagem (TP). Fonte: Dados da pesquisa. ....	121
<b>Figura 18</b> – Produção anual da <i>Sarcocornia ambigua</i> . Referencial bibliográfico, produção estimada e média ponderada utilizada como base de cálculo deste estudo. Fonte: Dados da pesquisa. ....	124
<b>Figura 19</b> – Cronograma de produção aquapônica. Ciclo produtivo por lote (LotN°). VS – Vazio Sanitário. Fonte: Dados da pesquisa. ....	125

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Levantamento dos principais estudos que utilizaram a ACV em modelagens ambientais para a aquicultura até o ano 2017..	30
<b>Tabela 2</b> – Índices zootécnicos do setor de berçário ( <i>Sarcocornia ambigua</i> e <i>Litopenaeus vannamei</i> ) no litoral sul do Brasil, março de 2017 <sup>1</sup> .	43
<b>Tabela 3</b> – Variáveis zootécnicas e fitotécnicas da produção aquapônica ( <i>Sarcocornia ambigua</i> e <i>Litopenaeus vannamei</i> ) no litoral sul do Brasil, março 2017 <sup>a</sup> .	45
<b>Tabela 4</b> – Estimativa do investimento necessário para empreendimento aquapônico entre <i>Sarcocornia ambigua</i> e <i>Litopenaeus vannamei</i> no litoral sul do Brasil, março de 2017 <sup>1</sup> .	49
<b>Tabela 5</b> – Custo operacional da produção aquapônica entre <i>Sarcocornia ambigua</i> e <i>Litopenaeus vannamei</i> no litoral sul do Brasil, março de 2017 <sup>1, 2</sup> .	50
<b>Tabela 6</b> – Custos operacionais da produção aquapônica entre <i>Sarcocornia ambigua</i> e <i>Litopenaeus vannamei</i> calculados pela quantidade produzida, março de 2017 <sup>1</sup> .	53
<b>Tabela 7</b> – Indicadores econômicos da produção aquapônica entre <i>Sarcocornia ambigua</i> e <i>Litopenaeus vannamei</i> , considerando três preços por quilo da halófito, março de 2017 <sup>1</sup> .	55
<b>Tabela 8</b> – Análise da sensibilidade dos indicadores econômicos da produção aquapônica entre <i>Sarcocornia ambigua</i> e <i>Litopenaeus vannamei</i> , considerando a perda de 11 ciclos (culturas) no primeiro ano, março de 2017 <sup>1</sup> .	56
<b>Tabela 9</b> – Fluxos para produção de 1 tonelada da halófito <i>Sarcocornia ambigua</i> e 626 kg de camarão <i>Litopenaeus vannamei</i> produzidos em sistema aquapônico <sup>a</sup> .	79
<b>Tabela 10</b> – Impactos ambientais por categoria para produção de 1 tonelada da halófito <i>Sarcocornia ambigua</i> e 626 kg do camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> produzidos em sistema aquapônico....	83
<b>Tabela 11</b> – Investimentos necessários para produção da <i>Sarcocornia ambigua</i> , março de 2017.	122
<b>Tabela 12</b> – Índices fitotécnicos para produção da <i>Sarcocornia ambigua</i> necessários para utilização no empreendimento aquapônico, março de 2017.	122
<b>Tabela 13</b> – Custos operacionais para produção da <i>Sarcocornia ambigua</i> , março de 2017.	123
<b>Tabela 14</b> – Custo Total de Produção (CTP) por unidade de <i>Sarcocornia ambigua</i> produzida, março de 2017.	123



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAO – Área Agrícola Ocupada;  
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;  
ACV – Avaliação do Ciclo de Vida;  
AICV – Avaliação dos Impactos Ambientais do Ciclo de Vida;  
AO – Área Ocupada;  
AO – Área Ocupada;  
AOC-CO<sub>2</sub> – Área Ocupada para Compensação do CO<sub>2</sub> emitido;  
AOC-DEN – Área Ocupada para Compensação da Demanda por Energia Nuclear;  
BFT – *Biofloc Technology* (Tecnologia de Bioflocos);  
C – Carbono;  
CO<sub>2</sub> eq – Dióxido de Carbono equivalente;  
COE – Custo Operacional Efetivo;  
COT – Custo Operacional Total;  
CT – Competição por Terra;  
CTP – Custo Total da Produção;  
DA – Demanda por Água;  
DAd – Dependência de Água Doce;  
DAE – Demanda Acumulativa de Energia;  
DAE – Demanda Acumulativa de energia;  
DAm – Dependência de Água Marinha;  
EU – Energia Utilizada;  
FAO – *Food and Agriculture Organization*;  
FC – Fluxo de Caixa;  
FOT – Formação de Ozônio na Troposfera;  
GWP – *Global Warming Potential* (Potencial de Aquecimento Global);  
HP – *Horse Power*;  
ICV – Inventário do Ciclo de Vida;  
IL – Índice de Lucratividade;  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (Brasil);  
IR – Inorgânicos Respiratórios;  
ISO – *International Organization for Standardization*;  
kVA – QuiloVolt-Ampere;  
LCA – *Life Cycle Assessment*;  
LO – Lucro Operacional;  
MJ eq – MegaJoule equivalente;  
N – Nitrogênio;  
NBR – Norma Brasileira;  
NFT – Nutrient Film Technology;  
NH<sub>4</sub> – Amônio;  
NO<sub>3</sub> – Nitrato;  
OIE – *Organização Internacional de Epizootia*;

OR – Orgânicos Respiratórios;  
P – Fósforo;  
PAc – Potencial de Acidificação;  
PAG – Potencial de Aquecimento Global;  
PB – Proteína Bruta;  
PCg – Potencial Carcinogênico;  
PDAb – Potencial de Depleção Abiótica;  
PDAq – Potencial de Depleção Aquática;  
PDCO – Potencial de Depleção da Camada de Ozônio;  
PE – Ponto de Equilíbrio;  
PE – Potencial de Ecotoxicidade;  
PEu – Potencial de Eutrofização;  
PEuA – Potencial de Eutrofização Aquática;  
PEuT – Potencial de Eutrofização Terrestre;  
PFOFq – Potencial de Formação de Oxidantes Fotoquímicos;  
PL – Pós-Larva de camarão;  
PMC – Potencial de Mudança Climática;  
PO<sub>4</sub> eq – Fosfato equivalente;  
PR – Potencial de Radiação;  
PTAd – Potencial de Toxicidade da Água Doce;  
PTAm – Potencial de Toxicidade da Água Marinha;  
PTH – Potencial de Toxicidade Humana;  
PTT – Potencial de Toxicidade Terrestre;  
PVC – *Polyvinyl Chloride* (Policloreto de Vinila);  
RAS – *Recirculating Aquaculture Systems*;  
RB – Receita Bruta;  
RCI – Retorno do Capital Investido;  
SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas;  
SO<sub>2</sub> eq – Dióxido de Enxofre;  
TIR – Taxa Interna de Retorno;  
TMA – Taxa Mínima de Atratividade;  
TP – Tanque de Passagem;  
Tq – Tanque de Cultivo;  
UA – Uso de Água;  
UCF – Uso de Combustível Fóssil;  
UENR – Uso de Energia Não Renovável;  
UF – Unidade Funcional;  
ULPP – Uso Líquido de Produto Primário;  
UM – Uso de Minerais;  
Unid. – Unidade;  
UP – Unidade de Produção;  
URA – Uso dos Recursos Abióticos;  
URB – Uso dos Recursos Bióticos;  
VPL – Valor Presente Líquido.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO .....</b>	<b>23</b>
1.1.1	<b>Definição do Objetivo e do Escopo .....</b>	<b>34</b>
1.1.2	<b>Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV).....</b>	<b>34</b>
1.1.3	<b>Avaliação de Impacto Ambiental de Ciclo de Vida (AICV).....</b>	<b>35</b>
1.1.4	<b>Interpretação dos resultados.....</b>	<b>35</b>
1.2	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>36</b>
1.2.1	<b>Geral .....</b>	<b>36</b>
1.2.2	<b>Específico.....</b>	<b>36</b>
1.3	<b>FORMATAÇÃO DOS CAPÍTULOS .....</b>	<b>36</b>
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA PRODUÇÃO COMERCIAL ENTRE A ERVA-SAL <i>Sarcocornia ambigua</i> E O CAMARÃO MARINHO EM UM SISTEMA AQUAPÔNICO.....</b>	<b>37</b>
2.1	<b>RESUMO .....</b>	<b>37</b>
2.2	<b>ABSTRACT .....</b>	<b>38</b>
2.3	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>39</b>
2.4	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>41</b>
2.4.1	<b>Setor de Berçário .....</b>	<b>42</b>
2.4.2	<b>Setor de Cultivo.....</b>	<b>43</b>
2.4.3	<b>Viabilidade Econômica.....</b>	<b>46</b>
2.5	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
2.6	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>58</b>
2.7	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>62</b>
2.8	<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>63</b>
2.9	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>63</b>
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO III: AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO AQUAPÔNICA ENTRE HALÓFITA E O CAMARÃO MARINHO EM ESCALA COMERCIAL .....</b>	<b>71</b>
3.1	<b>RESUMO .....</b>	<b>71</b>
3.2	<b>ABSTRACT .....</b>	<b>72</b>

3.3	INTRODUÇÃO.....	73
3.4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	74
<b>3.4.1</b>	<b>Descrição do Sistema Aquapônico .....</b>	<b>74</b>
<b>3.4.2</b>	<b>Avaliação do Ciclo de Vida.....</b>	<b>77</b>
3.4.2.1	Objetivo, Escopo, Unidades Funcionais e Limites do Sistema .....	77
3.4.2.2	Inventário de Ciclo de Vida (ICV).....	78
3.4.2.3	Pressupostos e limitações da análise .....	79
3.4.2.4	Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida (AICV).....	80
3.4.2.5	Interpretação .....	81
3.5	RESULTADOS .....	82
<b>3.5.1</b>	<b>Análise Interpretativa.....</b>	<b>88</b>
3.6	DISCUSSÃO.....	90
3.7	CONCLUSÃO.....	94
3.8	AGRADECIMENTOS.....	95
3.9	REFERÊNCIAS .....	95
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>103</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>105</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO .....</b>	<b>107</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>121</b>
	APÊNDICE 1 - Layout da estrutura aquapônica marinha.....	121
	APÊNDICE 2 - Custos para produção da halófito <i>Sarcocornia ambigua</i> . 122	
	APÊNDICE 3 - Cenário de produção anual da halófito <i>Sarcocornia ambigua</i> . .....	124
	APÊNDICE 4 - Cronograma da produção aquapônica entre a halófito <i>Sarcocornia ambigua</i> e o camarão marinho <i>Litopenaeus vannamei</i> . .....	125

## 1 CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

Aquicultura é a arte de cultivar organismos cujo ciclo de vida depende total ou parcialmente de um meio aquático. É uma das atividades do agronegócio que mais tem crescido no mundo. Nas últimas duas décadas, a aquicultura mundial tem alcançado altos índices de produção. De acordo com dados da *Food and Agriculture Organization - FAO* (2018), a produção aquícola em 2016, sem contar a produção algal, alcançou 110,2 milhões de toneladas, gerando aproximadamente 245,5 bilhões de dólares. Desse total produzido, 26,04% (cerca de 28,7 milhões de toneladas) tem origem na aquicultura marinha.

Entre as produções da aquicultura marinha, a carcinicultura, designação dada ao cultivo de crustáceos, produziu cerca de 6,4 milhões de toneladas, tendo nos camarões da família Penaeidae, *Penaeus monodon* e *Litopenaeus vannamei*, a maior representação em produção com cerca de 4,0 milhões de toneladas (FAO, 2018).

Nas Américas Central e do Sul predomina o cultivo da espécie *L. vannamei*. Essa espécie ocorre naturalmente na costa leste do Pacífico, desde Sonora (México) até Tumbes, no norte do Peru (Barbieri Junior; Ostrensky Neto, 2001) (Figura 1). No Brasil, o *L. vannamei* é a espécie mais cultivada com cerca de 52,1 mil toneladas produzidas desse crustáceo em 2016, com maior atuação produtiva nos estados do nordeste (FAO, 2018).

O início da carcinicultura no Brasil data da década de 70, quando o Governo do Rio Grande do Norte criou o “Projeto Camarão” para estudar a viabilidade do cultivo do camarão marinho *Penaeus monodon* em salinas desativadas dessa região, importando da Ásia inclusive a tecnologia de cultivo dessa espécie (SEBRAE, 2008; Natori *et al.*, 2011). No entanto, devido ao insucesso das pesquisas nas áreas de reprodução, produtividade e resistência a doenças, além da falta de adaptação dessa espécie ao ambiente brasileiro, houve-se a necessidade da busca de outra espécie. Assim, ainda na década de 80, importou-se o Camarão Branco do Pacífico (*L. vannamei*), do Equador, espécie nativa desse país, onde já era cultivada com sucesso (Costa, 2004; SEBRAE, 2008).

A fácil adaptação às condições ambientais brasileiras, a rapidez de crescimento, além da tolerância às variações de salinidade, tornaram o camarão branco do pacífico a principal espécie de crustáceos produzida no Brasil. Isto devido ao fato de que os laboratórios brasileiros dominaram a reprodução e a produção de pós-larvas do *L. vannamei* e proporcionaram sua distribuição em escala comercial (em meados dos anos 90). Assim, as fazendas de carcinicultura adotaram o cultivo do novo

camarão, obtendo melhores índices de produtividade e rentabilidade quando comparados aos obtidos nos cultivos das espécies nativas, demonstrando a viabilidade comercial de sua produção no país (Lima, 2007; SEBRAE, 2008).



**Figura 1** – Área de ocorrência natural do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*.

No Brasil, assim como em outros países da América do Sul e Central, foi adotado o modo de produção em viveiros de terra e próximos a região costeira (Chamberlain, 2010; Schweitzer, 2012). Esse modelo de produção consiste em viveiros de terra de grandes áreas de lâmina d'água cuja qualidade ambiental do cultivo tem na renovação da água sua usual forma de manejo. Porém, enquanto a água que entra por bombeamento para os tanques pode servir como vetor de patógenos, a água utilizada no cultivo que volta ao ambiente costeiro, por descarte, sem o devido tratamento, pode se transformar em fonte de contaminação do mesmo ambiente natural (Páez-Osuna, 2001; Horowitz e Horowitz, 2002; Lightner, 2003).

A falta de ordenamento estrutural da carcinicultura brasileira proporcionou a entrada e, sobretudo, a proliferação de doenças que afetaram drasticamente o setor. Devido ao surgimento de enfermidades, como a do Vírus da Mancha Branca (*White Spot Syndrome Virus*, em inglês), no início dos anos 2000 a produção brasileira de camarões marinhos sofreu retração de 180,4 milhões de dólares alcançados em 2003, para 151,8 milhões de dólares em 2004 (FAO, 2015).

A expansão da aquicultura atual depende do desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias que maximizem a produção com menor impacto ambiental (Hu *et al.*, 2015). Cultivos alternativos têm surgido com vistas a promover uma carcinicultura mais sustentável. A produção de camarões marinhos em sistemas super-intensivos (alta estocagem de biomassa por m<sup>3</sup> de água utilizada) com baixa ou nenhuma troca de água, levanta questões de possível mitigação dos impactos ambientais e epizooticos associados, visto que a descarga de efluentes em corpos hídricos adjacentes ao empreendimento aquícola é reduzida, atendendo assim, às normas da Organização Internacional de Epizootia (OIE), ao mesmo tempo em que aumenta consideravelmente sua produção (Waselesky *et al.*, 2006).

Estudos realizados com o camarão *L. vannamei*, em sistema de bioflocos (*Biofloc Technology* – BFT), apontam para a adoção de altas densidades de estocagem (superior a 500 camarões m<sup>-3</sup>), possibilitando assim a otimização no uso de menores áreas para o emprego desta atividade (Ebeling *et al.*, 2006; Avnimelech, 2009; Ray *et al.*, 2009; Ray *et al.*, 2010; Krummenauer *et al.*, 2011; Fóes *et al.*, 2012; Fróes *et al.*, 2013). Além disso, devido às menores taxas de renovação de água, há uma significativa redução na necessidade do seu uso quando comparado aos cultivos tradicionais, ou extensivos (Waselesky *et al.*, 2006).

O sistema de bioflocos é constituído de flocos formados por bactérias (ciliados e flagelados), rotíferos, diatomáceas, entre outros microrganismos que, agregados a resto de ração, exoesqueleto e polímeros presentes na água do cultivo, neutralizam os compostos nitrogenados (Amônia, nitrito e nitrato) dissolvidos nesse cultivo (Ebeling *et al.*, 2006; Avnimelech, 2009; Fóes *et al.*, 2012). Por ser um agregado de microrganismos, os flocos microbianos servem como importante fonte alternativa de nutrientes e podem complementar a alimentação da espécie cultivada (Fóes *et al.*, 2012; Samocha *et al.*, 2004). A possível redução na utilização de rações, devido ao consumo dos flocos microbianos, pode contribuir para a desoneração do produtor (Avnimelech, 2009).

Em sistemas BFT a reduzida troca de água, entrada de matéria orgânica e altas taxas de crescimento de bactérias heterotróficas contribuem para formação dos Sólidos Totais (Schweitzer *et al.*, 2013a). As consequências das altas concentrações desses sólidos incluem a má qualidade da água, mudança na composição dos organismos que integram o biofoco, entre outros aspectos, o que compromete a saúde, crescimento e sobrevivência dos camarões cultivados (Crab *et al.*, 2007; Ebeling *et al.*, 2006; Hargreaves, 2006; Van Wyk, 2006; Vinatea *et al.*, 2010; Schweitzer *et al.*, 2013a). Dessa forma, torna-se necessário que uma parte destes sólidos seja retirada para manter o sistema estável e saudável para os camarões (Van Wyk, 2006; Ray *et al.*, 2009).

Um sistema que pode potencializar a eficiência do menor espaço utilizado para cultivo em função de um aumento na produtividade (lucratividade), e ainda, que se beneficia de nutrientes dissolvidos no cultivo e presentes nessa massa de sólidos (Lodo), é a Aquaponia (Rupasinghe e Kennedy, 2010).

A aquaponia é reconhecida como um sistema de produção de alimentos ambientalmente amigável, que integra a aquicultura (cultivo de peixe, camarões, etc.) e a hidroponia (cultivo de plantas sem solo), onde ambas as práticas de cultivo beneficiam-se mutuamente em uma unidade de produção (Rakocy *et al.*, 2004; Emereciano *et al.*, 2015; Pinheiro, 2015).

Um sistema aquapônico geralmente é formado por um tanque para os animais, um sedimentador para a remoção dos sólidos, um filtro biológico para nitrificação e uma bancada hidropônica para a produção de vegetais (Graber e Junge, 2009; Lennard; Leonard, 2006; Rakocy, 2012). No entanto, a despeito de uma produção aquícola marinha integrada à produção hidropônica, faz-se necessária a seleção de um vegetal que suporte as taxas de salinidade desse cultivo.

Plantas halófitas são tolerantes às variações de salinidade dos ambientes costeiros, habitando marismas, mangues e estuários (Adams e Bate, 1994; Troyo-Diéguez *et al.*, 1994; Brown *et al.*, 1999; Gengmao *et al.*, 2010; Boxman *et al.*, 2015). Dentre as halófitas com potencial econômico estão os espécimes da família Chenopodiaceae (Leite *et al.*, 2007).

Plantas como a *Sarcocornia ambigua* (Michx.), descrita anteriormente como *Salicornia gaudichauciana* Mog. (Chenopodiaceae) e popularmente conhecida como erva-de-sal, distribuem-se amplamente pela América do Sul (Alonso e Crespo, 2008). Essas plantas têm grande potencial biotecnológico com a extração de óleos das sementes para obtenção de biodiesel ou de compostos fitoterápicos para atender a

indústria de fármacos (Kim *et al.*, 2012; Essaidi *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2013). Também, se destacam por tolerar uma grande amplitude de salinidade intersticial (D'OCA *et al.*, 2012). Silva (2016), Soares-Neto (2017) e Pinheiro *et al.* (2017), cultivaram com sucesso a *S. ambigua* em sistema NFT (*Nutrient Film Technique*), integrando a produção hidropônica da halófita com a produção do camarão marinho *L. vannamei* em sistema BFT. No sistema NFT as raízes das plantas permanecem parcialmente submersas em um filme de água corrente que passa pelos canais de irrigação (Lennard e Leonard, 2006). (APÊNDICE 1)

No entanto, não há estudos que demonstrem a viabilidade financeira de um sistema aquapônico marinho. O entendimento sobre a economia de um empreendimento aquícola desempenha um papel importante no desenvolvimento da aquicultura, pois fornece base não só para a tomada de decisões para os aquicultores individuais, mas também para a formulação de políticas públicas do setor aquícola (Shang, 1986).

Devido às grandes incertezas que cercam as diferentes cadeias produtivas aquícolas, a manutenção ou aumento da capacidade de um determinado sistema de produção em adaptar-se a uma eventual má fase do setor, pode ser decisiva para a permanência do produtor na atividade (Valenti *et al.*, 2010). De acordo com dados do Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas (SEBRAE), a taxa de mortalidade das empresas com mais de dois anos de funcionamento corresponde a cerca de 24,4%, sendo que, entre as principais causas dessa mortalidade estão a má administração e a falta de estratégia empresarial (SEBRAE, 2013).

Um fator de relevante importância para longevidade e saúde da futura atividade é o estudo da viabilidade econômico-financeira de um sistema produtivo. Zago *et al.* (2009) afirmam que a análise de viabilidade econômica e financeira de um empreendimento deve buscar a identificação de quais serão os benefícios esperados, para assim, confrontá-los com outros investimentos e custos associados a esse, tendo como resultado final a decisão pela implementação do projeto economicamente viável. Além disso, o conhecimento da evolução dos custos de produção representa um grande auxílio no esforço de reduzi-los. Sua análise mais aprofundada permite identificar os itens que representam os lucros ou prejuízos que deverão ser prioritariamente trabalhados e os que tendem a aumentar sua participação no empreendimento em geral (Souza *et al.*, 2003).

Sabbag *et al.* (2007) afirmam que avaliação econômica dos projetos aquícolas, a médio e longo prazos, disponibiliza dados para a implementação de ações gerenciais que contribuem de forma decisiva

para a sustentabilidade e longevidade do empreendimento. Uma análise bem detalhada contribui para a tomada de decisão tanto financeira, quanto de implementação ou da estruturação do novo empreendimento. Ressalta-se, ainda, que a análise econômica precede as demais análises, visto que de um projeto inviável economicamente, torna-se desnecessária qualquer outra análise, seja de sustentabilidade ecológica ou social (Valenti *et al.*, 2000).

Existem diversos estudos que analisam a viabilidade técnica e econômica de sistemas de produção integrada, sejam esses aquapônicos ou multi-tróficos, entre os quais podemos destacar os trabalhos de Neori *et al.* (2000), que comprovam a praticidade da integração produtiva entre moluscos, peixes e algas marinhas em sistema de recirculação; Schuenhoff *et al.* (2004), destacam a utilização de macroalgas (*Ulva lactuca*), integrada a produção da Dourada (*Sparus aurata*), em sistema de recirculação como importante agente tratador dos efluentes gerados pelo cultivo dos peixes; Bunting e Shpigel (2009), utilizando conceitos de modelagem bioeconômica, afirmam que empreendimentos que integram cultivos de diferentes níveis tróficos podem apresentar melhores índices financeiros como TIR (133,4%) e *Payback period* (1,3 anos) para um horizonte de 10 anos. Além de livros, ou capítulos de livros, que demonstram a viabilidade técnica e financeira desse sistema de produção, como Rakocy (2002), Timmons e Ebeling (2007), Tidwell (2012), entre outros.

No entanto, apesar da consolidação alcançada pelo agronegócio, devido a sua grandeza de produção, esse setor enfrenta desafios quanto aos impactos ambientais associados. Merecem destaque (i) a crescente preocupação da sociedade quanto à sustentabilidade ambiental, tema que vem ganhando importância nos debates técnicos e científicos, gerando a necessidade de criação de uma produção sustentável e “limpa”; e (ii) a tendência do mercado mundial que apresenta na requisição de rotulagem e certificações de produtos elaborados sob critérios sustentáveis, requisitos imprescindíveis para sua comercialização (Claudino e Talamini, 2012).

As práticas atuais de prospecção econômica de empreendimentos aquícolas não contemplam as perdas ou danos ambientais decorrentes de um manejo incorreto. A partir da década de 50 começaram a aparecer estudos sistemáticos dos custos relacionados ao meio ambiente. Desde então, uma grande quantidade de estudos e avanços foram surgindo na linha econômica neoclássica do meio ambiente (Agostinho, 2005; Prado e Kaskantzis, 2005; Claudino e Talamini, 2012).

O desenvolvimento de um indicador de sustentabilidade que quantifique e qualifique os impactos ambientais, surge como importante ferramenta para o estabelecimento de valores guias das melhores práticas ambientais de uma ou mais atividades. Alguns indicadores podem auxiliar no conhecimento e entendimento das atividades não-amigáveis ao meio ambiente, bem como contorná-las ou amenizá-las (Beletini, 2014). Afinal, é do ambiente que vêm os insumos que satisfazem as necessidades humanas e é para ele que volta o resultado do processo produtivo, na forma de efluentes ou resíduos.

Existem diversos modelos de indicadores capazes de mensurar os impactos causados por determinado processo produtivo, estejam eles nas esferas ambiental, econômico e/ou social (Beletini, 2014), dentre os quais destaca-se o conceito da Análise de Ciclo de Vida.

O conhecimento do ciclo de vida de um produto é o primeiro passo na busca do desenvolvimento sustentável de uma atividade. O ciclo de vida inicia-se quando os recursos para a fabricação de determinado produto ou serviço são extraídos como matéria-prima da natureza (denominado “Berço”), passando pela transformação da matéria-prima, manufatura do produto, uso, pós-consumo, incluindo ainda as etapas de transporte, e a gestão do resíduo, finalizando quando o material é descartado, e retorna para a terra (Túmulo), encerrando assim sua vida útil (Prado e Kaskantzis, 2005; Kimpara *et. al.*, 2012; Beletini, 2014; Cherubini *et. al.*, 2014).

Estudos que identificam e qualificam os impactos ambientais atribuídos a aquicultura, utilizando a ACV como ferramenta metodológica, têm sido realizados desde o início dos anos 1990 (Henriksson *et al.*, 2012). Um dos primeiros trabalhos que avaliou os impactos ambientais do setor aquícola foi de Papatryphon *et al.* (2004), que identificou e quantificou as cargas de impactos atribuídas a produção e utilização das rações para truticultura na França (Pelletier *et al.*, 2007). A partir desse, outros estudos seguiram com a proposta de identificar os impactos da atividade aquícola. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresenta alguns dos estudos que utilizaram a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida aplicada à aquicultura até o ano de 2017.

**Tabela 1** – Levantamento dos principais estudos que utilizaram a ACV em modelagens ambientais para a aquicultura até o ano 2017.

<b>Periódico</b>	<b>Categorias de Impacto avaliadas</b>	<b>Autores</b>
Trabalhos Acadêmicos	PDAb; PAG; PDCO; PTH; PTAd; PTAm; PFOFq; PAc; PEu DAE; ULPP; PAG; PAc; PEu; AO; EU; PAG; PEu; PAc. URB; DAE; PAG; PAc; PEu PDAb; PAG; PDCO; PAc; PEu. PAG; PTH; PAc; PEu; EU; AO; DAd.	Mungkung (2005) Sun (2009) Phong (2010) Cao (2012) Beletini (2014) Boxman et al. (2015)
Agriculture, Nature and Food Quality Ministry	PAG; PAc; PEu; EU; PTH; PTAd; PTAm.	Bosma et al. (2009)
AmBio	EU; ULPP; PAG; PAc; PEu.	Papatryphon et al. (2004)
Aquacultural Engineering	PAG; ULPP; EU; PEu; PAc; DA; AO. PAG; ULPP; EU; PAc; PEu; DAm; UA. Pac; PEu; PAG; CT.	d'Orbecastel et al. (2009) Jerbi et al. (2012) Samuel-Fitwi et al. (2013a)
Aquaculture	PDAb; PAG; PAc; PEu; DAE. PEu; PAc; PAG; ULPP; UENR. EU; PAG; PAc; PEu; PTAm; URB. Pac; PEu; PMC; PTT; ULPP; UA; AO; DAE. PEu; PAG; PAc; DAE; AO; ULPP; DAd. PEu; PAG; PAc; DAE; UT; ULPP; DAd. Pac; AAO; URB; DAE; PEu; PAG; PDAq; PTAd; PTH; PTT; ReCiPe. PEu; PAc; PAG.	Forchino et al. (2017) Aubin et al. (2006) Pelletier et al. (2007) Boissy et al. (2011) Aubin et al. (2015) Santos et al. (2015) Avadi et al. (2015) Jonell e Henriksson (2015)
Bioresource Technology	RR; UCF; UENuc; UMetal; UMineral; DAm; AO; DRAtm. PCg; OR; IR; PMC; PR; PDCO; PE; PAc; PEu; AO; UM; UCF.	Taelman et al. (2013) Giwa (2017)
Boreal Environ. Research	PAG; PAc; PEuA; PEuT; FOT.	Grönroos et al. (2006)
Ciencia, Tecnologia y Futuro	PAG; PAc; PEu; PFOFq; PDCO; UENR.	Pardo-Cardenas et al. (2013)
Environ. Engineering Science	PAG; PTH; PAc; PEu; EU; CT; DAd	Boxman et al. (2016)
Environ. Science & Technology	ULPP; DAE; PAG; PAc; PEu.	Cao et al. (2011)
Global Aquaculture Advocate	PAG; PAc; PEu; DAE; URB. INFORMATIVO	McGrath et al. (2015) Davies (2010)

(Continuação)

Int. Jour. of LCA	PCg; IR; PAG; PDCO; PE; PAc; PEu; UCF. PDAb; PAG; PDCO; PTH; PTAd; PTAm; PFOFq; PAc; PEu REVISÃO PAG; DAE. PAG; PAc; PEu; PTH; PTAm; PTAd. REVISÃO PAc; PEu; PAG; AO. DPP. PAG; PAc; PEu; DAE.	Ellingsen e Aanondsen (2006) Mungkung et al. (2006) Pelletier et al. (2007) Sander e Murthy (2010) Bosma et al. (2011) Henriksson et al. (2012) Samuel-Fitwi et al. (2013c) Cashion et al. (2016) Yacoult et al. (2016)
Int. Jour. of Environ. Research	PDAb; PAG; PDCO; PFOFq; PAc; PEu.	Iribarren et al. (2012)
Int. Jour. of Environ. Science and Development	PDAb; PAc; PAG.	Pongpat e Tongpool (2013)
Int. Jour. of Sust. Develop. and World Ecology	PEu; PAc; PAG; EU; ULPP; UA; AO.	Lazard et al. (2014)
Jour. of Cleaner Production	PEu; PAc; PMC; ULPP; UEEle PDAb; PAG; PTH; PTAm; PAc; PEu; DAE. PAc; PDCO; PDAb; PAG; PEu; PFOFq; PTAd; PTAm; PTT; PTH. PEu; PAG; PAc; UENR; UT; ULPP; UA. PAG; PAc; PEu; PFOFq; PTA; PTT; PTH; EU; URA; URB; PDCO. DA; DAE; AO; PMC; PAc; PEu; ULPP. PAc; PAG; PEu; AO. PAG; PAc; PEu; AO; DAE; DAd; ULPP. PDAb; PAc; PEu; PAG; PDCO; PTH; PTAd; PTAm; PTT; PFOFq; AO; AOC-CO <sub>2</sub> ; AOC-DEN.	Aubin et al. (2009) Ayer e Tyedmers (2009) Iribarren et al. (2010) Ewoukem et al. (2012) Samuel-Fitwi et al. (2012) Mungkung et al. (2013) Samuel-Fitwi et al. (2013a) Chen et al. (2015) Perez-Lopes et al. (2017)
Jour. of Environ. Management	PAG; ULPP; DAE; PEu; PAc; UA; CT.	Wilfart et al. (2013)
Jour. of Industrial Ecology	DAE; ULPP; PAG; PAc; PEu.	Pelletier e Tyedmers (2010)
Livestock Science	PAG; PAc; PEu.	Phong et al. (2011)
Marine Policy	REVISÃO/RECOMENDAÇÕES	Ellingsen et al. (2009)
Proceedings of the National Academy of Scienc.	REVISÃO	Troell et al. (2014)

(Continuação)

Resources, Conservation and Recycling	DRAR; RA; UCF; AO; DRMar; Umetal; UMineral; UENuc; DAm.	Taelman et al. (2014)
Reviews in Aquaculture SEU-Services Ltd., Fair consulting in sustainability	REVISÃO PEE; PAG	Cao et al. (2013) Buchspies et al. (2011)
Sustaining Ethical Aquac. Trade	PDAb; AO; CT; PMC; PDCO; PTH; PTAd; PTAm; PTT; PFOFq; PAc; PEu.	Guinée et al. (2010)

Legenda: AAO (Área Agrícola Ocupada); AO (Área Ocupada); AOC-CO<sub>2</sub> (Área Ocupada para Compensação do CO<sub>2</sub> emitido); AOC-DEN (Área Ocupada para Compensação da Demanda por Energia Nuclear); CT (Competição por Terra); DA (Demanda por Água); DAd (Dependência de Água Doce); DAE (Demanda Acumulativa de energia); DAm (Dependência de Água Marinha); DPP (Dependência da Produção Primária); DRAtm (Demanda por Recursos Atmosférico); DRMar (Dependência de Recursos Marinhos); DRAR (Demanda por Recursos Abióticos Renováveis); EU (Energia Utilizada); FOT (Formação de Ozônio na Troposfera); IR Inorgânicos Respiratórios); OR (Orgânicos Respiratórios); PAc (Potencial de Acidificação); PAG (Potencial de Aquecimento Global); PCg (Potencial Carcinogênico); PDAb (Potencial de Depleção Abiótica); PDAq (Potencial de Depleção Aquática); PDCO (Potencial de Depleção da Camada de Ozônio); PE (Potencial de Ecotoxicidade); PEE Potencial de Escassez Ecológica); PEu (Potencial de Eutrofização); PEuA (Potencial de Eutrofização Aquática); PEuT (Potencial de Eutrofização Terrestre); PFOFq (Potencial de Formação de Oxidantes Fotoquímicos); PMC (Potencial de Mudança Climática); PR (Potencial de Radiação); PTA (Potencial de Toxicidade da Água); PTAd (Potencial de Toxicidade da Água Doce); PTAm (Potencial de Toxicidade da Água Marinha); PTH (Potencial de Toxicidade Humana); PTT (Potencial de Toxicidade Terrestre); RA (Recursos Atmosféricos); ReCiPe ; RR (Recursos Renováveis); UA (Uso de Água); UCF (Uso de Combustível Fóssil); UEEle (Uso de Energia Elétrica); UENuc (Uso de Energia Nuclear); UENR (Uso de Energia Não Renovável); ULPP (Uso Líquido de Produto Primário); UMetal (Uso de Metal); UMineral (Uso de Mineral); URA (Uso dos Recursos Abióticos); URB (Uso dos Recursos Bióticos); UT (Uso de Terra).

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma importante metodologia de gestão que permite contabilizar ambientalmente os impactos, em todas as fases do processo de produção, bens ou serviços ofertados.

Atualmente, as normas que definem e regulamentam a ACV são padronizadas pela Organização Internacional de Normatização (*International Organization of Standardization – ISO*), sendo:

- **ISO 14.040/2006** – Gestão ambiental – Princípios e estrutura – Define os objetivos e o escopo, assim como descreve e estrutura a análise do Inventário de Ciclo de Vida (ICV), Avaliação do Impacto de Ciclo de Vida (AICV), Interpretação e Elaboração do Relatório de Ciclo de Vida.
- **ISO 14.044/2006** – Gestão ambiental – Requisitos e orientação – Define os requisitos e fornece orientações mais específicas para as fases citadas na ISO 14.040/2006.
- **ISO 14.047/2006** – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Exemplos ilustrativos de como aplicar ISO 14.044 para avaliar as situações de impacto – Fornece exemplos para ilustrar a prática atual de avaliação de impacto do ciclo de vida de acordo com a ISO 14.044/2006.
- **ISO 14.048/2002** – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Formato da documentação de dados – Padroniza um formato de documentação de dados a ser utilizado para uma transparente e inequívoca documentação.
- **ISO 14.049/2012** – Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Exemplos ilustrativos de como aplicar ISO 14.044 para definição do objetivo e escopo e avaliação do inventário – Fornece exemplos sobre as práticas na realização da fase da definição do Objetivo e Escopo e da análise do ICV como um meio de satisfazer certas disposições da norma ISO 14.044/2006.

Estas normas internacionais foram regulamentadas no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) pela norma NBR ISO 14.040, publicada em 2001 e atualizada em 2006 e 2009 (Prado e Kaskantzis, 2005; ABNT, 2009a, 2009b). Atualmente, as normas brasileiras relativas à ACV são:

- **ABNT NBR ISO 14.040/2009** - Gestão ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura; e
- **ABNT NBR ISO 14.044/2009** - Gestão ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e Orientações.

Um estudo de ACV deve apresentar quatro fases: definição do objetivo e escopo; análise de inventário do ciclo de vida; avaliação do impacto; e interpretação dos resultados. A Figura 2 demonstra as principais fases de uma ACV e como se inter-relacionam.



**Figura 2** – Fases de uma Análise do Ciclo de Vida (ACV)  
(Fonte: Norma ABNT ISO 14.040/2009).

### 1.1.1 Definição do Objetivo e do Escopo

O objetivo e o escopo do estudo irão indicar a escolha do método de análise do Inventário de Ciclo de Vida (ICV). É nessa fase que se define a razão principal para a condução do estudo, sua abrangência e limites, a unidade funcional, a metodologia e os procedimentos a serem utilizados. Essas definições são consideradas primordiais para a garantia da qualidade do estudo (Prado e Kaskantzis, 2005; Roy *et al.*, 2009; Claudino e Talamini, 2013).

De modo geral, dois objetivos podem ser considerados principais na Análise do Ciclo de Vida de produtos: (i) determinar quais são as matérias-primas utilizadas e as emissões geradas durante o ciclo de vida do produto estudado; e (ii) determinar quais serão os impactos causados pelas emissões e consumo das matérias-primas sobre o meio ambiente (Roy *et al.*, 2009).

### 1.1.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

É a fase que contempla o levantamento, a compilação e a quantificação das entradas e saídas de um determinado sistema considerando a energia, recursos naturais e emissões para água, terra e ar, baseada nas categorias de impacto, nos limites (fronteiras) e na unidade funcional (Prado e Kaskantzis, 2005).

Os tipos de dados de entrada incluem consumo energético, água, quantidade de matérias-primas necessárias, entre outros, e de saída incluem o produto (propriamente dito), coprodutos, resíduos gerados,

emissões para o ar, solo e água e outros aspectos ambientais (Roy *et al.*, 2009).

### **1.1.3 Avaliação de Impacto Ambiental de Ciclo de Vida (AICV)**

Etapa onde se procura entender e avaliar a intensidade e o significado das alterações potenciais sobre o meio ambiente, com base nos resultados do Inventário de Ciclo de Vida. Essas alterações estão associadas ao consumo de recursos naturais e de energia e da emissão de substâncias relativas ao ciclo de vida do produto em estudo (Prado e Kaskantzis, 2005; Roy *et al.*, 2009).

A AICV elenca diversas categorias de impacto ambiental, como a utilização dos recursos bióticos, o uso de energia, a redução da camada de ozônio, o potencial de aquecimento global, o potencial de toxicidade humana, a potencial de acidificação e a eutrofização dos recursos hídricos entre outros (Roy *et al.*, 2009; Cao *et al.*, 2011).

### **1.1.4 Interpretação dos resultados**

Nesta fase, os resultados obtidos no ICV e AICV devem ser coerentemente relacionados ao objetivo e ao escopo do estudo, para assim chegar às conclusões e recomendações aos tomadores de decisão (Prado e Kaskantzis, 2005).

Nessa avaliação pode-se incluir medidas quantitativas e qualitativas de melhoria, tais como mudanças no produto, no processo da atividade, no uso de matérias-primas e na gestão de resíduos (Roy *et al.*, 2009).

Portanto, a ACV é uma importante ferramenta para a tomada de decisão ambiental, por apresentar resultados claros com base científica, tendo aplicações para inúmeros processos, produtos e serviços causadores de alterações da qualidade do meio ambiente (Romeiro, 2013). Entender o ciclo de vida do bem produzido e consumido é um passo fundamental para gestão sustentável de produção (Prado e Kaskantzis, 2005).

## 1.2 OBJETIVOS

A motivação principal desse trabalho está na avaliação econômica da produção aquapônica entre o camarão marinho *Litopenaeus vannamei* e a halófito *Sarcocornia ambigua*, e aplicação da metodologia de ACV, com a utilização dos softwares e metodologias específicas para identificar e avaliar os impactos ambientais dessa produção.

### 1.2.1 Geral

Contribuir para o desenvolvimento sustentável de um modelo de produção aquapônica entre *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* cultivados em sistemas superintensivos.

### 1.2.2 Específico

- ➔ Projetar um empreendimento de produção aquapônica entre a halófito *Sarcocornia ambigua* e o camarão marinho *Litopenaeus vannamei*;
- ➔ Estimar os custos de implantação e de operação do empreendimento de produção aquapônica marinha; e
- ➔ Identificar e estimar os impactos ambientais causados pela operação do empreendimento de produção aquapônica proposta.

## 1.3 FORMATAÇÃO DOS CAPÍTULOS

Essa tese está dividida em três capítulos. O primeiro capítulo aborda a introdução geral e estado da arte dos temas que envolvem essa obra. Os dois capítulos seguintes, foram escritos em forma de artigo científico e referem-se respectivamente a Viabilidade Econômica e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da produção aquapônica entre a halófito *Sarcocornia ambigua* e o camarão marinho *Litopenaeus vannamei*.

O segundo capítulo (primeiro artigo), está publicado no periódico *Aquaculture International* (ISSN 0967-6120), sob o endereço eletrônico DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0277-8>. O terceiro capítulo (segundo artigo) está configurado de acordo com o periódico *Agronomy for Sustainable Development* (Fator de Impacto: 4.101).

## 2 CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA PRODUÇÃO COMERCIAL ENTRE A ERVA-SAL *Sarcocornia ambigua* E O CAMARÃO MARINHO EM UM SISTEMA AQUAPÔNICO

### 2.1 RESUMO

A implementação de sistemas aquapônicos aumentou significativamente nas últimas duas décadas, e vários estudos relatam as ramificações técnicas, socioeconômicas e ambientais para alcançar a sustentabilidade na produção de alimentos. O presente estudo, entretanto, objetivou realizar uma avaliação econômica em escala comercial, utilizando um modelo de sistema de produção de aquaponia marinha com a halófito *Sarcocornia ambigua* e o camarão *Litopenaeus vannamei* cultivado em *Nutrient Film Technique* (NFT) e biofloco (BFT), respectivamente. Para calcular os índices fitotécnicos e zootécnicos, utilizou-se estudos recentes disponíveis na literatura. Indicadores de custos operacionais (Custo Total de Produção - CTP) e a viabilidade financeira foram calculadas com base em um horizonte de fluxo de caixa de 10 anos. O estudo proposto estimou um investimento inicial de US\$ 474.253,07, com CTPs anuais em torno de US\$ 192.220,50, US\$ 247.740,52 e US\$ 223.482,65 para os anos 1, 2 a 9 e 10, nos diferentes períodos estudados. Nestes períodos, a produção anual da halófito foi de 17.017, 23.286 e 18.808 kg, enquanto a produção de camarão marinho foi de 10.659, 14.586 e 11.781 kg. Com base nesses números de produção anual, os CTPs foram US\$ 4,75, US\$ 4,03 e US\$ 4,67 kg<sup>-1</sup> para halófitas e US\$ 10,45, US\$ 14,43 e US\$ 11,52 kg<sup>-1</sup> para os camarões. Três preços de venda foram estimados por quilo da halófito produzida e um preço fixo por quilo de camarão produzido. Apenas o preço de venda mais alto apresentou índices favoráveis após avaliação pelos cenários de sensibilidades. Com base nos parâmetros acima, o CTP da halófito ficou abaixo dos valores de vendas praticados, ou seja, o preço de referência, demonstrando a possibilidade de aumentar o valor de venda para o nível “premium”, indicando que este sistema de produção de aquaponia marinha é viável para implementação no Brasil.

**Palavras-Chave:** Sistema integrado; Halófito; *Sarcocornia ambigua*; *Litopenaeus vannamei*; Bioflocos; *Glasswort*; Aspargos do mar.

## 2.2 ABSTRACT

The implementation of aquaponics systems has significantly increased in the last two decades, and several studies have reported on the technical, socioeconomic, and environmental ramifications in order to achieve sustainability in food production. The present study, however, aimed to perform a commercial-scale economic evaluation, using a model marine aquaponics production system with the halophyte *Sarcocornia ambigua* and the shrimp *Litopenaeus vannamei* cultivated in nutrient film technology (NFT) and biofloc technology (BFT) systems, respectively. To calculate phytotechnical and zootechnical indexes, we used recent studies available in the literature. Indicators of operational costs (total cost of production—TCP) and financial viability were calculated based on a cash flow horizon of 10 years. The proposed study estimated an initial investment of US\$ 474,253.07, with annual TCPs around US\$ 192,220.50, US\$ 247,740.52, and US\$ 223,482.65 years 1, 2 to 9, and 10, the different periods studied. Within these respective periods, the annual production of halophyte was 17,017, 23,286, and 18,808 kg, while marine shrimp production was 10,659, 14,586, and 11,781 kg. Based on these annual production numbers, the TCPs were US\$ 4.75, US\$ 4.03, and US\$ 4.67 kg<sup>-1</sup> for halophyte and US\$ 10.45, US\$ 14.43, and US\$ 11.52 kg<sup>-1</sup> for shrimp. Three sales prices were estimated per kilogram of halophyte produced and one fixed price per kilogram of shrimp produced. Only the highest selling price showed favorable indexes after testing sensitivities. Based on the above parameters, halophyte TCP was below sales value, i.e., reference price, with the possibility of increasing the price to “premium” level, indicating that this marine aquaponics production system was feasible for implementation in Brazil

**Palavras-Chave:** Integrated system; Halophyte; *Sarcocornia ambigua*; *Litopenaeus vannamei*; Biofloc; Glasswort; Sea asparagus

## 2.3 INTRODUÇÃO

A aquaponia é uma tecnologia de produção que integra o cultivo de plantas sem solo (hidroponia) e aquicultura (peixes e/ou crustáceos) em um sistema de recirculação de água (Rakocy, 2012). Nestes sistemas, os vegetais atuam como assimiladores dos nutrientes produzidos a partir dos animais cultivados (Quintã *et al.*, 2015). Em sistemas de produção de plantas, quando as raízes permanecem parcialmente submersas e estão em contato permanente com a água da cultura, o sistema radicular da planta oferece substrato para a colonização de bactérias (Lennard e Leonard, 2006; Hu *et al.*, 2015). Essas bactérias, principalmente *Nitrobacter* e *Nitrosomonas*, podem oxidar a amônia (NH<sub>4</sub>), um composto tóxico para peixes e crustáceos, a nitrato (NO<sub>3</sub>), uma substância menos nociva aos animais e altamente assimilada pelas plantas (Buzby e Lin, 2014; FAO, 2014).

Dada a versatilidade de sua estrutura e os produtos originados da integração entre sistemas, Junge *et al.* (2017) argumentam que os sistemas de aquaponia podem acomodar a agricultura urbana em pequena escala, tanto a nível comunitário como comercial. De acordo com a Organização para Agricultura e Alimentação (FAO), os sistemas aquapônicos constituem uma ferramenta importante para geração de renda e produtos alimentícios biossegurança em pequenas áreas, áreas urbanas ou áreas de solo salinizado, que são inadequadas para a agricultura convencional (FAO, 2014).

No entanto, para construir um sistema integrado de culturas marinhas (aquaponia marinha), é necessário usar espécies de plantas que mostram tolerância à salinidade da água. As plantas halófitas são encontradas naturalmente em ambientes costeiros, como lagunas costeiras, manguezais e estuários, onde é encontrada uma alta incidência de água salobra ou marinha (Adams e Bate, 1994; Troyo-Diéguez *et al.*, 1994; Brown *et al.*, 1999; Gengmao *et al.*, 2010; Boxmann *et al.*, 2015). Halófitas, como *Sarcocornia ambigua* (família *Chenopodiaceae*), popularmente conhecida como erva-sal, toleram grande amplitude de salinidade intersticial (D'Oca *et al.*, 2012), e demonstraram significativo potencial biotecnológico através da extração de óleo de semente para obtenção de biodiesel (Kim *et al.*, 2012; Essaidi *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2013). Possui importantes compostos funcionais benéficos para a saúde humana e é amplamente utilizado na culinária europeia (Ventura *et al.*, 2011; Ventura e Sagi, 2013).

Aproveitando a água de cultivos, estudos utilizando halófitas em sistemas integrados foram publicados por Porto *et al.* (2006) e Boxmann

*et al.* (2015, 2016) para sistemas de aquaponia marinha com peixes, assim como Mariscal-Lagarda *et al.* (2012), Moroyoqui-Rojo *et al.* (2012), Silva (2016), Pinheiro *et al.* (2017) e Soares-Neto (2017) para culturas de camarões marinhos integradas com halófitas, todos mostrando resultados promissores. Pinheiro *et al.* (2017) cultivaram com sucesso *S. ambigua* em um sistema de *Nutrient Film Technique* (NFT), integrando a produção hidropônica de halófitas com a produção do camarão branco do Pacífico *Litopenaeus vannamei* em um sistema de bioflocos (*Biofloc Technology*, BFT).

O sistema de bioflocos consiste em flocos formados por bactérias (ciliados e flagelados), rotíferos e diatomáceas, entre outros microrganismos que, juntamente com rações de animais, exoesqueleto e polímeros presentes na água do cultivo, reduzem os efeitos negativos dos compostos nitrogenados, incluindo amônia, nitrito e nitrato, dissolvidos nesta água (Ebeling *et al.*, 2006; Avnimelech, 2009; Fóes *et al.*, 2012). Por ser um agregado de microrganismos, os flocos microbianos servem como uma importante fonte alternativa de nutrientes e podem complementar a dieta das espécies cultivadas (Fóes *et al.*, 2012; Samocha *et al.*, 2004). A possível redução no uso de alimentos, devido ao consumo de flocos microbianos, pode reduzir os custos de produção (Avnimelech, 2009).

Atualmente, diferentes tipos de sistemas aquapônicos foram colocados em serviço ou estão em desenvolvimento (Engle, 2015). Poucos estudos relataram sistemas de aquaponia usando *NFT* (Lennard e Leonard, 2006; Castellani *et al.*, 2009; Buzby e Lin, 2014; Monsees *et al.*, 2017; Pinheiro *et al.*, 2017). Silva (2016), Pinheiro *et al.* (2017) e Soares-Neto (2017) demonstraram a viabilidade técnica da produção de aquaponia entre *Sarcocornia ambigua* produzida em sistema *NFT* e *Litopenaeus vannamei* cultivada em *BFT*. No entanto, nenhum consenso foi alcançado sobre a viabilidade econômica dos sistemas testados, especialmente em escala comercial (Junge *et al.*, 2017). Sabbag *et al.* (2007) afirmaram que as avaliações econômicas de projetos que envolvam a produção aquícola em médio e longo prazos podem fornecer dados para a implementação de estratégias gerenciais que contribuirão para a sustentabilidade e longevidade do negócio.

Assim, entender a economia de uma empresa de aquaponia teria um papel importante no desenvolvimento do setor da aquicultura, uma vez que fornece base para a tomada de decisões pelos empreendedores individuais e para o desenvolvimento de políticas públicas (Shang, 1990).

Portanto, com base em dados da literatura, o presente estudo objetivou realizar uma avaliação econômica em escala comercial de um

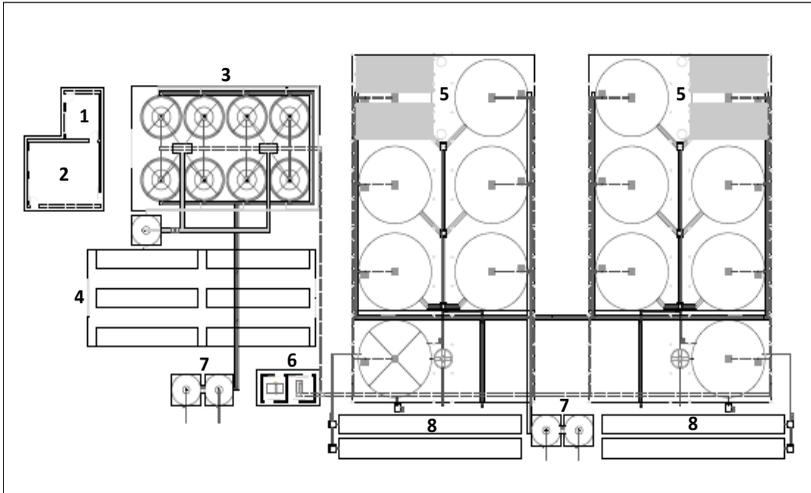
modelo de sistema de produção de aquaponia marinha, utilizando a halófita *Sarcocornia ambigua* e o camarão *Litopenaeus vannamei* cultivados nos sistemas NFT e BFT, respectivamente.

## 2.4 MATERIAIS E MÉTODOS

A elaboração dos cenários de produção aquapônica marinha baseou-se na prospecção de um empreendimento a ser implantado no litoral da região Sul do Brasil, entre o litoral norte do Estado do Paraná e litoral sul do Estado do Rio Grande do Sul (25°18'24" S/48°19'44" W e 33°39'33" S/53°25'58" W). Os índices zootécnicos e fitotécnicos da produção integrada entre *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* são oriundos de resultados obtidos por Silva (2016) e Pinheiro *et al.* (2017).

A planta de produção (3.500 m<sup>2</sup> de área) é composta por um almoxarifado para armazenagem de equipamentos e insumos (80 m<sup>2</sup>), escritório (12 m<sup>2</sup>), laboratório de berçário dos camarões (268 m<sup>2</sup>), setor de cultivo aquapônico (720 m<sup>2</sup> cada estufa), viveiro para produção de plantas (250 m<sup>2</sup>) e sala de máquinas (25 m<sup>2</sup>) com gerador a diesel e compressores radiais instalados (Figura 3). As estufas para a produção aquapônica deverão ser cobertas com lona plástica transparente para manter a temperatura da água tão constante quanto possível (aproximadamente 28° C) para evitar flutuações bruscas de temperatura, características desta região. Uma distância de 500 m entre o empreendimento e o ponto de captação de água foi arbitrariamente definida.

Para efeitos de cálculos, o modelo de negócio foi dividido em dois setores diferentes que se concentram na produção de camarão. A primeira envolve o Setor de Berçário, correspondendo à recepção, manutenção e cultivo das formas larvais do camarão *L. vannamei*. O segundo envolve a área de produção da aquaponia, consistindo de um sistema de produção para o cultivo de halófitas e camarões, definido aqui como Setor de Cultivo.



**Figura 3** – Estrutura aquapônica. (1) Escritório, (2) almoxarifado, (3) Setor de berçário, (4) estufa de plantas, (5) estufa de Cultivo, (6) sala de máquinas, (7) tanques de armazenamento, e (8) banco de matrizes da halófitas. Área total de 3.500 m<sup>2</sup>. Fonte: Dados da pesquisa.

### 2.4.1 Setor de Berçário

Oito tanques de lona reforçada com capacidade de 10 m<sup>3</sup> (9 m<sup>3</sup> de volume útil) foram alocados em uma estufa de 268 m<sup>2</sup> (Tabela 2).

Nesta área, as pós-larvas do camarão (PL<sub>15</sub> - pós-larvas 15 dias após a metamorfose do estágio de *Mysis*), adquiridos de um produtor que atua na região, devem ser cultivados por aproximadamente 60 dias, até atingirem 1,5 g de peso médio, na densidade de 5.000 PLs.m<sup>-3</sup> sem troca de água na despesca (Correia *et al.*, 2014). As PLs devem ser alimentadas com ração comercial com 40% de proteína bruta (PB), de acordo com a tabela de alimentação para o cultivo intensivo de camarão marinho (Van Wyk, 1999; Chamorro-Legarda *et al.*, 2016). Após o período de cultivo neste setor, os então juvenis de camarão marinho devem ser transferidos para as Unidades de Produção (UPs) do setor de cultivo.

**Tabela 2** – Índices zootécnicos do setor de berçário (*Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei*) no litoral sul do Brasil, março de 2017<sup>1</sup>.

<i>L. vannamei</i> _Berçário	Unid.	Ano 1	Anos 2 a 9	Ano 10
Preço da PL <sub>15</sub>	US\$ milheiro <sup>-1</sup>	5.50	5.50	5.50
Densidade Inicial	PL <sub>15</sub> m <sup>-3</sup>	5.000	5.000	5.000
Volume Útil	m <sup>3</sup>	9	9	9
Total de camarões	PL <sub>15</sub> Tq <sup>-1</sup>	45.000	45.000	45.000
Preço Total das PL <sub>15</sub>	US\$ Tq <sup>-1</sup> Ciclo <sup>-1</sup>	245.74	245.74	245.74
Sobrevivência final (70%)	Camarões m <sup>-3</sup>	31.500	31.500	31.500
Arraçoamento	kg Tq <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup>	0,018	0,018	0,018
Período de cultivo	Dias Ciclo <sup>-1</sup>	60	60	60
Ciclos por ano <sup>2</sup>	Ciclos Ano <sup>-1</sup>	48	52	44
Total de ração	kg Ciclo <sup>-1</sup>	138,45	138,45	138,45
Preço da ração	US\$ kg <sup>-1</sup>	1.74	1.74	1.74
Total gasto com ração	US\$ Tq <sup>-1</sup> Ciclo <sup>-1</sup>	240.61	240.61	240.61
Total gasto com ração	US\$ Tq <sup>-1</sup> Ano <sup>-1</sup>	10,206.79	12,511.70	9,523.80

<sup>1</sup> Montante expresso em dólar americano = R\$ 3,113 (<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/batch/taxas.asp?id=txdolar>), acessado em 1 de março de 2017;

<sup>2</sup> Cada ciclo corresponde a um tanque.

Fonte: Baseado em Correia et al. (2015), Silva et al (2015), e Chamorro-Legarda (2016).

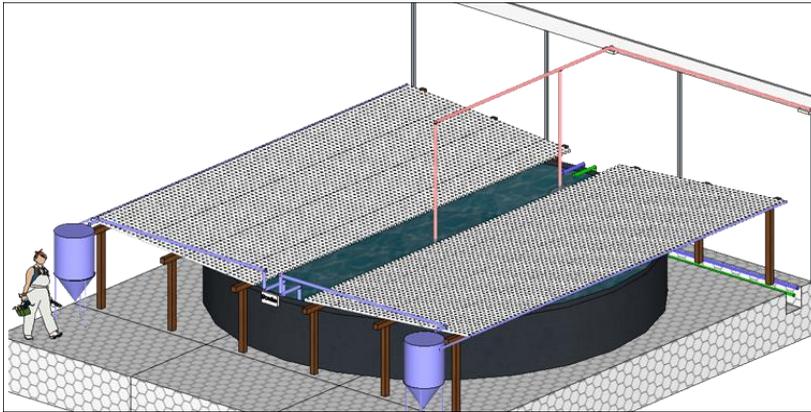
## 2.4.2 Setor de Cultivo

O sistema proposto utiliza BFT como principal sistema de engorda para camarões. O objetivo desta técnica é intensificar o cultivo (Krummenauer *et al.*, 2011; Crab *et al.*, 2012; Fróes *et al.*, 2013) e reduzir o uso de água (Burford *et al.*, 2004; Avnimelech, 2006).

Assim, 14 tanques de lona reforçados (60 m<sup>3</sup> de capacidade cada – 55 m<sup>3</sup> de volume útil) foram instalados em duas estufas de 720 m<sup>2</sup> cada (Figura 3). Dois desses tanques servem como uma passagem para a água do cultivo no momento da despesca, mantendo o sistema BFT ativo até o início de um novo ciclo, quando a água retorna ao tanque original. Os outros 12 tanques constituem as UPs, onde o camarão e as plantas são cultivadas em um sistema de aquaponia (Figura 16 e Figura 17 - APÊNDICE 1).

Cada UP é composta por um tanque com 55 m<sup>3</sup> de volume de útil, sistema de aeração por difusão (mangueira microperfurada), aquecedor automático de titânio (40.000 W) acionados por 12 horas diárias, dois decantadores de fibra de vidro com fundo cônico e volume de 1.000 L e duas bancadas hidropônicas no sistema NFT (Lennard e Leonard, 2006). Cada tanque tem um diâmetro de 8 m possibilitando a instalação de duas

bancadas com 212 calhas hidropônicas (3,7 m de comprimento e 65 mm de largura) (Figura 4).



**Figura 4** – Estrutura da Unidade de Produção (UP). Fonte: Dados da pesquisa.

As plantas halófitas provêm de um banco de matriz mantido na própria propriedade e devem ser produzidas anualmente por propagação vegetativa (estacas) após terem sido cultivadas em bandejas por aproximadamente 30 dias no viveiro de plantas, tempo suficiente para o enraizamento. Após o período de enraizamento, as plantas devem ser transferidas para as calhas de NFT das UPs (Silva, 2016; Pinheiro *et al.*, 2017; Soares-Neto, 2017).

Cada bancada hidropônica está localizada acima do tanque de cultivo e consiste de uma bomba submersa de  $1.000 \text{ L h}^{-1}$  instalado no interior do tanque de cultivo do camarão, um decantador (1.000 L), uma bomba eléctrica instalada na parte inferior do decantador e calhas hidropônicas (5% de inclinação para o centro do tanque). A água do cultivo é bombeada para o decantador e o sobrenadante irriga as raízes das halófitas nas calhas, antes de retornar ao tanque. Em intervalos de 1 h, uma bomba eléctrica é ativada automaticamente por 1 min para retornar parte da água do decantador para o tanque dos camarões.

Os camarões devem ser cultivados em sistema BFT com densidade de  $500 \text{ camarões.m}^{-3}$  (Fróes *et al.*, 2013) e alimentados quatro vezes ao dia com ração comercial. Nos primeiros 30 dias de cada ciclo de produção, a ração deve ser oferecida com 40% de PB (Chamorro-Lergada, 2015) e, posteriormente, com 35% de PB (Schveitzer *et al.*,

2013), seguindo a metodologia de alimentação sugerida por van Wyk (1999).

Os índices zootécnicos e fitotécnicos do setor de cultivo são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** – Variáveis zootécnicas e fitotécnicas da produção aquapônica (*Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei*) no litoral sul do Brasil, março 2017<sup>a</sup>.

<i>L. vannamei</i> Engorda	Unid.	Ano 1	Anos 2 a 9	Ano 10
Densidade	Camarão m <sup>-3</sup> UP <sup>-1</sup>	500	500	500
Camarões por UP (Inicial)	Unids.	27.500	27.500	27.500
Sobrevivência final (85%)	Camarões m <sup>-3</sup>	23.375	23.375	23.375
Peso médio final	kg Camarão <sup>-1</sup>	0,012	0,012	0,012
Total de ração consumida	kg UP <sup>-1</sup> Ciclo <sup>-1</sup>	563,02	563,02	563,02
Total de gastos com ração <sup>2</sup>	US\$ Ciclo <sup>-1</sup>	755,71	1,341.65	1,341.65
Biomassa final	kg UP <sup>-1</sup> Ciclo <sup>-1</sup>	280,50	280,50	280,50
Período de cultivo	Dias	75	75	75
Ciclos por ano <sup>3</sup>	Unids.	38	52	42
Biomassa final	kg UP <sup>-1</sup> Ano <sup>-1</sup>	10.659,00	14.586,00	11.781,00
<b><i>S. ambigua</i></b>				
Densidade	Halofita m <sub>linear</sub> <sup>-1</sup>	10	10	10
Número de calhas hidropônicas	Unids UP <sup>-1</sup>	212	212	212
Tamanho de calhas hidropônicas	Metro	3,7	3,7	3,7
Halófitas (Inicial)	Unids UP <sup>-1</sup>	7.856	7.856	7.856
Sobrevivência final (95%)	Unids UP <sup>-1</sup>	7.464	7.464	7.464
Peso médio unitário <sup>b</sup>	kg unids <sup>-1</sup>	0,06	0,06	0,06
Preço unitário das mudas	US\$ unid. <sup>-1</sup>	0,13	0,13	0,13
Valor total gasto com mudas	US\$ Ciclo <sup>-1</sup>	1,009.49	1,009.49	1,009.49
Biomassa final	kg UP <sup>-1</sup> Ciclo <sup>-1</sup>	597,08	597,08	597,08
Período de cultivo	Dias	75	75	75
Ciclos por ano <sup>c</sup>	Unids.	38	52	42
Biomassa final	kg UP <sup>-1</sup> Ano <sup>-1</sup>	17.016,82	23.286,17	18.808,06

<sup>a</sup> Montante expresso em dólar americano = R\$ 3,113 (<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/batch/taxas.asp?id=txdolar>), acessado em 1 de março de 2017;;

<sup>b</sup> Média calculada com base em estudos pretéritos (Figura 18)

<sup>c</sup> Cada ciclo corresponde a uma Unidade de Produção (UP) (Figura 19);

Fonte: De acordo com estudos de Silva (2016), Pinheiro et al. (2017) e Soares-Neto (2017).

O ciclo de produção termina após 11 semanas (aproximadamente 75 dias), seguindo a descrição de Silva (2016), Pinheiro et al. (2017) e Soares-Neto (2017). Em cada UP, a quantidade total de água é esvaziada, os camarões são colhidos manualmente e as porções herbáceas das halófitas são podadas. No momento da colheita, 70% da água de cultivo de cada UP é direcionada para o tanque de passagem, retornando a UP original assim que iniciar um novo ciclo de produção. Assim, muito do bioflocos presente na UP é mantido. Os 30% restantes devem ser

mecanicamente filtrados para retenção de sólidos, e a porção líquida irrigará as matrizes da halófitas. No final do ciclo de produção, apenas as plantas serão podadas, permanecendo nas calhas hidropônicas durante todo o ano e renovadas uma vez por ano.

Os cálculos financeiros foram baseados no número de ciclos de produção por ano. Para isso, considerou-se 4 semanas para a construção do Setor de Berçário com sistemas hidráulicos e elétricos e 7 semanas para o Setor de Cultivo, como segue:

- Ano 1 = 48 ciclos de produção para o Setor de Berçário e 38 ciclos de produção para o Setor de Cultivo;
- Anos 2 a 9 = 52 ciclos de produção para ambos os setores; e
- Ano 10 = 44 ciclos de produção para o Setor de Berçário e 42 ciclos de produção para o Setor de Cultivo.

### 2.4.3 Viabilidade Econômica

Para a avaliação econômica e financeira do empreendimento proposto, os custos, receitas e lucros obtidos para a produção combinada entre a halófitas *S. ambigua* e o de camarão marinho *L. vannamei* foram analisados por meio de análises orçamentárias para comparar os custos e as variações de receita em cada esquema, conforme observado acima (Shang, 1990).

Para estimar o custo de um ciclo de produção, utilizou-se a metodologia proposta por Matsunaga *et al.* (1976), denominando como Custo Operacional Efetivo (COE), utiliza valores que incluem gastos como mão de obra, razão, energia elétrica, materiais, aquisição de pós-larvas de camarão e custos para produção de mudas, entre outros itens; Custo Operacional Total (COT), que inclui a soma do COE, mais os encargos sociais (aqui calculado em 40%) (Sanches *et al.*, 2006; Henriques *et al.*, 2010; Sanches *et al.*, 2013), encargos financeiros, estimados como uma taxa de juros anual em metade do COE por ciclo de produção e depreciação de equipamentos; e Custo Total de Produção (CTP), que é a soma do COT adicionado à juros anual do capital investido, a depreciação das instalações e a remuneração do empreendedor (Castilho-Barros *et al.*, 2014).

A viabilidade financeira do projeto foi avaliada com base no Fluxo de Caixa (FC) para um horizonte de 10 anos, como

$$FC = \frac{RB + \text{Saídas de caixa}}{CTP}$$

Para determinar a rentabilidade do negócio pelo FC, a metodologia descrita por Martin *et al.* (1998) foi utilizada com os seguintes parâmetros: Receita Bruta (RB), que é o rendimento da produção multiplicado pelo preço de venda do produto; Lucro Operacional (LO), que mede a rentabilidade de curto prazo, mostrando as condições financeiras e operacionais da atividade; Margem Bruta (MB), ou margem em relação ao CTP, ou seja, o resultado obtido após o produtor ter coberto todas as despesas, considerando o preço de venda por quilograma e a produtividade do sistema proposto; e o Índice de Lucratividade (IL), que é a razão entre LO e RB, como porcentagem. IL é um indicador importante que mostra o saldo de receita disponível após o pagamento de todos os custos operacionais.

Do FC, também foi possível estimar:

- Taxa Interna de Retorno (TIR), que é a taxa de juros que iguala os custos totais ao retorno, ou os benefícios totais obtidos, durante o período de operação do negócio (Sanches *et al.*, 2013). A viabilidade financeira do projeto é alcançada quando a TIR for igual ou superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), aqui definida como 12,15%, superior à taxa de juros que poderia ser recebida de outros investimentos financeiros (Taxa SELIC - Central Banco do Brasil, fevereiro de 2017<sup>1</sup>);
- Valor Presente Líquido (VPL), que é o valor dos benefícios em um determinado momento menos a soma dos custos atuais (Sanches *et al.*, 2014). Os valores do VPL acima de zero indicam a recuperação mínima do capital investido. Neste estudo, foram estipuladas taxas de desconto de 10 e 15%;
- Retorno do Capital Investido (RCI), que é um método de cálculo que não leva em conta a variação que o capital sofre ao longo do tempo, mas é amplamente utilizado para decisões rápidas no mercado; e
- O Ponto de Equilíbrio (PE), que determina a produção mínima necessária para cobrir os custos a um determinado preço de venda por quilograma da halófito ( $\text{US\$ kg}_{\text{Halófito}}^{-1}$ ) e/ou por quilograma de camarão produzido ( $\text{US\$ kg}_{\text{Camarão}}^{-1}$ ), calculado como

$$\text{PE} = (\text{CTP}/\text{kg}_{\text{Halófito}}) + (\text{CTP}/\text{kg}_{\text{Camarão}})$$

---

<sup>1</sup> Fonte: <http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdiarios.asp>, acessado em 1 de Março de 2017.

Finalmente, a fim de avaliar os riscos financeiros do projeto, uma análise de sensibilidade foi realizada com base em três cenários distintos: (a) variações no preço de varejo por quilograma de produto, ou seja, US\$ 9.00, US\$ 10.00, e US\$ 11.00 para *S. ambigua* e US\$ 6.50 para *L. vannamei* (preço praticado no mercado brasileiro de camarão); (b) perda de toda produção (11 ciclos) de camarão no setor de cultivo na 20ª semana do primeiro ano; e (c) devido à incerteza do mercado futuro, avaliamos a TIR e o RCI com taxas variáveis de 10 e 20% sobre a ração de camarão (com preço fixo de US\$ 10,00 kg<sup>-1</sup> para halófito).

## 2.5 RESULTADOS

O investimento necessário para a implementação do projeto de produção aquapônica marinha está detalhado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Uma sonda multiparâmetro (Hanna HI 98194), estimada neste estudo em US\$ 4,818.50, foi orçada para aferir os parâmetros da água do cultivo. A aquisição do sistema de filtragem de água com rejeitos dos tanques foi orçada em US\$ 4,818.50.

Um montante igual a 10% do total a ser investido no negócio foi cobrado para pagar as taxas relacionadas ao licenciamento ambiental, registro de aquicultura e licença de aquicultura ou licença de produtor rural. Adotou-se essa estratégia devido a variação que cada estado brasileiro apresenta como base de cálculos, de acordo com o potencial poluidor e ocupação do solo. O custo atribuído a essa taxa foi de US\$ 41,976.97.

Os custos totais anuais de produção (CTP) foram de US\$ 192,220.50, US\$ 247,740.52 e US\$ 223,482.65 para 48 e 38 ciclos (ano 1), 52 ciclos (anos 2 a 9) e 44 e 42 ciclos (ano 10), respectivamente (Tabela 5) Esses custos corresponderam a 40,52, 52,23 e 47,11%, respectivamente, do investimento total, revelando os altos custos para manter a atividade.

Com base nas características de um negócio de aquaponia marinha, foi decidido arrendar terrenos vagos sem edifícios perto da costa. O valor do arrendamento de uma área de 3.500 m<sup>2</sup> na costa sul do Brasil foi obtido a partir de agências de locação de imóveis da região. O valor médio anual foi de US\$ 34,693.22 (ou US\$ 2,891.10 mensais) (Tabela 5).

A mão de obra orçada consistiu de um técnico responsável pela produção (US\$ 1,124.32 por mês), oito funcionários de nível médio recebendo salário mínimo (US\$ 321.23 por mês) e três seguranças (US\$ 481.85 por mês). Esses itens resultaram em uma média de 9,43±0,77%

dos custos ao longo do horizonte de 10 anos. Orçou-se os honorários do empresário em torno de US\$ 1,927.40 por mês (Tabela 5).

**Tabela 4** – Estimativa do investimento necessário para empreendimento aquapônico entre *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* no litoral sul do Brasil, março de 2017<sup>1</sup>.

	Valor Total	Vida Útil <sup>2</sup>	Depreciação	Juros <sup>3</sup>	Total
<b>1.Construção Civil</b>					
Almoxarifado (80 m <sup>2</sup> ) + Escritório (12 m <sup>2</sup> ) + Mão de Obra	3,212.34	10	321.23	385.48	706.71
Estufa de cultivo (720 m <sup>2</sup> ) + Mão de Obra e Hidráulica	176,935.43	10	17,693.54	21,232.25	38,925.80
Estrutura para elevação de tanques (545 m <sup>2</sup> ) + Mão de Obra	6,681.66	10	668.17	801.80	1,469.96
Setor de berçário (268 m <sup>2</sup> ) + Mão de Obra e Hidráulica	14,635.40	10	1,463.54	1,756.25	3,219.79
Estufa de mudas (250 m <sup>2</sup> )	4,818.50	10	481.85	578.22	1,060.07
Casa de máquinas 25 m <sup>2</sup> ( <i>Blowers</i> e Gerador de energia)	321.23	10	32.12	38.55	70.67
Sistema de captação de água + Mão de Obra e Hidráulica	3,212.34	10	321.23	385.48	706.71
Banco de matrizes (Wetland)	5,139.74	10	513.97	616.77	1,130.74
<b>2.Equipamentos</b>					
2.a. Plantas - <i>Sarcocornia ambigua</i>					
Moto-bomba Submersível (1.000 L hora <sup>-1</sup> )	899.45	2.5	359.78	107.93	467.72
Eletrobomba	770.96	2.5	308.38	92.52	400.90
Sistema NFT	42,598.14	10	2,457.58	2,949.10	5,406.69
Caixa de colheta	160.62	5	16.06	9.64	25.70
Tesoura de poda	24.09	5	2.41	1.45	3.85
2.b. Camarões - <i>Litopenaeus vannamei</i>					
Sistema de aeração	6,745.90	5	1,349.18	809.51	2,158.69
Sistema de filtragem (Berçário)	2,248.63	5	449.73	269.84	719.56
Aquecedor de titânio (40.000 Watts)	35,978.16	5	7,195.63	4,317.38	11,513.01
Blower 7,5 HP	4,818.50	5	963.70	578.22	1,541.92
Tanques com 10 m <sup>3</sup> (Berçário)	6,424.67	10	642.47	770.96	1,413.43
Cesto de despesca	160.62	5	32.12	19.27	51.40
Rede de pesca	64.25	5	12.85	7.71	20.56
2.c. Ambos cultivos					
Tanque de Fibra de vidro para reservatório (20 m <sup>3</sup> )	8,994.54	10	899.45	1,079.34	1,978.80
Tanques com 60 m <sup>3</sup>	40,475.43	10	4,047.54	4,857.05	8,904.59

(Cont.)					
Decantador 1.000 Litros	17,989.08	10	1,798.91	2,158.69	3,957.60
Bomba de captação (2 HP)	803.08	5	160.62	96.37	256.99
Lavador de alta pressão (tipo Wap)	963.70	5	192.74	115.64	308.38
Material elétrico	3,212.34	10	321.23	385.48	706.71
Central de controle de aquecimento de água	963.70	5	192.74	115.64	308.38
Material hidráulico	3,212.34	10	321.23	385.48	706.71
Sonda Multi-parameter	4,818.50	5	963.70	578.22	1,541.92
Gerador de energia automático e Sistema de automação (40 kVA)	17,667.84	10	1,766.78	2,120.14	3,886.93
Sistema de filtragem de rejeitos	4,818.50	10	481.85	578.22	1,060.07
<b>3.Documetação</b>					
3.a. Licenciamento e regularização <sup>4</sup>	41,976.97	-	-	5,037.24	5,037.24
3.b. <i>Pro-Labore</i> para projetistas <sup>5</sup>	12,593.09	-	-	1,511.17	1,511.17
<b>TOTAL GERAL</b>	<b>474,339.73</b>		<b>48,253.07</b>	<b>56,920.77</b>	<b>105,173.84</b>

<sup>1</sup> Montante expresso em dólar americano = R\$ 3,113 (<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/batch/taxas.asp?id=txdolar>), acessado em 1 de março de 2017;

<sup>2</sup> Expresso em anos;

<sup>3</sup> 12% a.a. sobre o capital inicial;

<sup>4</sup> Cálculo do Licenciamento e regularização [3.a. = (1 + 2.a. + 2.b. + 2.c.) X 10%];

<sup>5</sup> Cálculo do *Pro-Labore* [3.b. = (1 + 2.a. + 2.b. + 2.c. + 3.a.) X 3%].

Fonte: Dados da pesquisa.

**Tabela 5** – Custo operacional da produção aquapônica entre *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* no litoral sul do Brasil, março de 2017<sup>1,2</sup>.

	COE <sup>3</sup>	Encargos Sociais <sup>4</sup>	Encargos financeiros <sup>5</sup>	COT <sup>3</sup>	Outros Custos	CTP <sup>3</sup>
Arrendamento da área (3,500 m <sup>2</sup> )	707.64 (±87.74)		84.92 (±10.53)	792.56 (±98.26)		792.56 (±98.26)
Mão de obra (Técnica)	88.40 (±10.96)	35.36 (±4.38)	14.85 (±1.84)	138.61 (±17.19)		138.61 (±17.19)
Mão de obra (Nível médio)	202.06 (±25.05)	80.82 (±10.02)	33.95 (±4.21)	316.83 (±39.28)		316.83 (±39.28)
Seguranças	113.66 (±14.09)	45.46 (±5.64)	19.09 (±2.37)	178.22 (±22.10)		178.22 (±22.10)
Material de limpeza	16.06 (±0.00)		1.93 (±0.00)	17.99 (±0.00)		17.99 (±0.00)
Custos com as mudas	91.77 (±0.00)		11.01 (±0.00)	102.78 (±0.00)		102.78 (±0.00)
Aquisição das PL <sub>15</sub>	245.74 (±0.00)		29.49 (±0.00)	275.23 (±0.00)		275.23 (±0.00)

(Cont.)				
Ração_Berçário	240.61 (±0.00)	28.87 (±0.00)	269.48 (±0.00)	269.48 (±0.00)
Ração_Engorda	1,283.05 (±185.29)	153.97 (±22.23)	1,437.02 (±207.53)	1,437.02 (±207.53)
Açúcar	8.99 (±0.00)	1.08 (±0.00)	10.07 (±0.00)	10.07 (±0.00)
Cal hidratada	2.10 (±0.48)	0.25 (±0.06)	2.35 (±0.54)	2.35 (±0.54)
Energia Elétrica	329.92 (±0.00)	39.59 (±0.00)	369.51 (±0.00)	369.51 (±0.00)
Depreciação Civil <sup>6</sup>			438.45 (±54.36)	438.45 (±54.36)
Depreciação dos Equipamentos <sup>6</sup>			545.77 (±67.67)	545.77 (±67.67)
Juros do capital investido			1,161.02 (±143.95)	1,161.02 (±143.95)
Remuneração do empreendedor			438.05 (±0.00)	438.05 (±0.00)
Frete dos camarões (600 Km Ida/Volta)	64.25 (±0.00)	7.71 (±0.00)	71.96 (±0.00)	71.96 (±0.00)
Diesel para Gerador de energia	120.46 (±0.00)	14.46 (±0.00)	134.92 (±0.00)	134.92 (±0.00)
<b>Total/Ciclo</b>	<b>3,514.72</b> <b>(±106.04)</b>		<b>4,663.31</b> <b>(±138.73)</b>	<b>6,700.83</b> <b>(±296.24)</b>
<i>S. ambigua</i>	980.44 (±33.55)		1,457.28 (±67.34)	2,510.87 (±164.63)
<i>L. vannamei</i>	2,534.28 (±77.99)		3,206.03 (±83.87)	4,189.96 (±138.25)
<b>Total/Ano 1</b>	<b>62,137.51</b>		<b>97,158.33</b>	<b>192,220.50</b>
<i>S. ambigua</i>	14,423.84		31,620.79	80,859.47
<i>L. vannamei</i>	47,713.67		65,537.57	111,361.03
<b>Total/ Anos 2 a 9</b>	<b>106,233.39</b>		<b>146,545.71</b>	<b>247,740.52</b>
<i>S. ambigua</i>	23,384.65		41,656.86	93,961.89
<i>L. vannamei</i>	82,848.74		104,888.85	153,778.63
<b>Total/Ano 10</b>	<b>88,314.15</b>		<b>126,668.29</b>	<b>223,482.65</b>
<i>S. ambigua</i>	19,813.78		37,708.52	87,823.32
<i>L. vannamei</i>	68,500.37		88,959.69	135,659.33

<sup>1</sup> Montante expresso em dólar americano = R\$ 3,113 (<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/batch/taxas.asp?id=txdolar>), acessado em 1 de março de 2017;

<sup>2</sup> Valores médios ± desvio padrão para os diferentes períodos

<sup>3</sup> Custo Operacional Efetivo (COE), Custo Operacional Total (COT) e Custo Total de Produção (CTP)

<sup>4</sup> Encargos sociais = 40% sobre a mão de obra do COE;

<sup>5</sup> Encargos financeiros = 24% a.a. sobre a metade de COE acrescidos dos encargos sociais;

<sup>6</sup> Depreciação estimada, de acordo com a vida útil.

Fonte: Dados do estudo.

Embora a presente proposta seja para a produção de *S. ambigua* na propriedade, o valor unitário de cada planta (US\$ 0.13) foi orçado como se o produtor tivesse que pagar pela compra de 94.276 unidades por ano, resultando em um total US\$ 12,113.85 para os 12 tanques (APÊNDICE II). O preço do camarão foi calculado com base nos valores praticados na região sul do Brasil, em que cada milheiro custa US\$ 5.50. No primeiro ano, US\$ 11,795.70 devem ser orçados para a aquisição de 2,16 milhões de PL<sub>15</sub> em 48 ciclos de produção. Para os anos 2 a 9, serão necessários 2,34 milhões por ano, contando 52 ciclos de produção com valor anual de US\$ 12,778.67. No último ano de produção do empreendimento (Ano 10), US\$ 10,812.72 devem ser gastos para a aquisição de 1,98 milhões de PLs.

No Setor de Berçário, as PLs deverão ser alimentadas com rações com 40% de PB ao qual foram estimados 138,54 kg de ração por tanque durante os 60 dias de cultivo, resultando em um custo anual de US\$ 10,206.79 (ano 1), US\$ 12,511.70 (anos 2 a 9) e US\$ 9,523.80 (ano 10). Para os mesmos períodos, a ração comercial (40 e 35% PB) no Setor de Cultivo foi estimada em US\$ 26,820.62, US\$ 39,296.74 e US\$ 35,903.05, respectivamente.

O custo do frete para aquisição das PLs<sub>15</sub> foi calculado com base nas informações fornecidas pelas empresas de logística da região. Consideramos uma viagem de 600 km (ida e volta) do laboratório de produção de camarão até o local do empreendimento e um peso de carga de 100 kg adicionado às taxas de tráfego. Estimou-se que uma viagem semanal, com custos anuais de US\$ 2,441.37, considerando 38 ciclos; US\$ 3,340.83, considerando 52 ciclos; e US\$ 2,698.36, considerando 44 ciclos.

A depreciação das construções e dos equipamentos foi estimada em US\$ 1,269.82 para o ciclo no primeiro ano, US\$ 927.94 ciclo<sup>-1</sup> para os anos 2 a 9 e US\$ 1,148.88 para o ano 10. Este não é um desembolso monetário real para o empreendedor, no entanto, deve ser considerado como parte dos custos para manutenção. Esses valores representam 17,77, 14,14 e 15,60% do total do CTP por ano, respectivamente.

Prevendo possíveis problemas futuros, como quedas de energia, que poderiam comprometer a produção da aquaponia, um sistema de energia elétrica reserva foi orçado. Considerou-se a aquisição de um gerador automático de energia elétrica de 40 kVA, juntamente com um sistema automatizado, no valor de US\$ 17,667.84 (Tabela 5). No entanto, como base para o cálculo dos custos do projeto, um limite operacional de 55 horas máximas por mês foi estipulado, sendo suficiente para promover a restauração e operação do sistema quando necessário, e esse custo com

combustível para o funcionamento desse equipamento foi estimado em US\$ 329.92±0.00 ciclo<sup>-1</sup> (Tabela 5). Assim, o valor anual resultou em um desembolso total de US\$ 16,363.93±1,698.00 para os diferentes períodos.

Os CTPs anuais atribuídos ao cultivo hidropônico da erva-sal foram estimados em US\$ 80,859.47 no primeiro ano (42,07%), US\$ 93,961.89 no segundo ao nono ano (37,93%) e US\$ 87,823.32 no décimo ano (39,30%). Para a produção de camarões brancos, 57,93, 62,07 e 60,70% foram estimados nos anos 1, 2 a 9 e 10, respectivamente.

O CTP por quilograma produzido de ambas as culturas (kg de halófito somada ao kg de camarão) foi de US\$ 15.20 (ano 1), US\$ 18.46 (anos 2 a 9) e US\$ 16.19 (ano 10) (Tabela 6). Embora a soma final dos resultados seja obtida com base em cálculos separados, deve-se observar que o empreendedor paga integralmente os custos operacionais, já que a dinâmica da produção integrada envolve uma entidade operacional como um todo.

**Tabela 6** – Custos operacionais da produção aquapônica entre *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* calculados pela quantidade produzida, março de 2017<sup>1</sup>.

		<b>Produção (kg Ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>COE<sup>2</sup> (US\$)</b>	<b>COT<sup>2</sup> (US\$)</b>	<b>CTP<sup>2</sup> (US\$)</b>
Ano 1	<i>S. ambigua</i>	17,016.82	0.85	1.86	4.75
	<i>L. vannamei</i>	10,659.00	4.48	6.15	10.45
<b>Total</b>			<b>5.32</b>	<b>8.01</b>	<b>15.20</b>
Anos 2 a 9	<i>S. ambigua</i>	23,286.17	1.00	1.79	4.03
	<i>L. vannamei</i>	14,586.00	5.68	7.19	14.43
<b>Total</b>			<b>6.68</b>	<b>8.98</b>	<b>18.46</b>
Ano 10	<i>S. ambigua</i>	18,808.06	1.05	2.00	4.67
	<i>L. vannamei</i>	11,781.00	5.81	7.55	11.52
<b>Total</b>			<b>6.87</b>	<b>9.56</b>	<b>16.19</b>

<sup>1</sup> Montante expresso em dólar americano = R\$ 3,113 (<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/batch/taxas.asp?id=txdolar>), acessado em 1 de março de 2017;

<sup>2</sup> Custo Operacional Efetivo (COE), Custo Operacional Total (COT) e Custo Total de Produção (CTP).

Fonte: Dados da pesquisa.

Os indicadores econômicos e de lucratividade foram calculados considerando três preços de venda por kg de halófito (US\$ 9.00, US\$ 10.00 e US\$ 11.00) e um preço fixo (US\$ 6.50) para camarões marinhos (Tabela 7).

A TIR para os valores de venda da halófitas com os US\$ 10.00 kg<sup>-1</sup> foi de 8,63% e ficou abaixo da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) estipulada neste estudo (12,15%), apresentando RCI de 7,34 anos, o que representa risco considerável para o negócio. No melhor cenário de venda, com preço de US\$ 11.00 kg<sup>-1</sup> para as halófitas, foram obtidos resultados animadores de TIR, VPL de 10% e RCI de 14,95%, US\$ 107.785,87 e 5,97 anos, respectivamente (Tabela 7).

Ponto de Equilíbrio (PE) da produção variou sensivelmente entre os anos. Para cobrir o primeiro ano de produção, dependendo da variação no volume de vendas das halófitas, serão necessários produzir 8.984,39 kg (vendido por US\$ 9.00 kg<sup>-1</sup>), 8.085,95 kg (vendido por US\$ 10.00 kg<sup>-1</sup>), ou 7.350,86 kg (vendido por US\$ 11.00 kg<sup>-1</sup> de halófitas) e 17.132,47 kg de camarão para o preço fixo (US\$ 6.50 kg<sup>-1</sup>). O período do segundo ao nono ano resultou na demanda de 10.440,21 kg (halófitas vendidas por US\$ 9.00 kg<sup>-1</sup>), 9.396,19 kg (halófitas vendidas por US\$ 10.00 kg<sup>-1</sup>), e 8.541,99 kg (halófitas vendidas por US\$ 11.00 kg<sup>-1</sup>) e 23.658,25 kg (camarões vendidos por US\$ 6.50 kg<sup>-1</sup>) a cada ano. Para o período com 42 ciclos de produção (ano 10) serão necessários produzir 9.758,15, 8.782,33 e 7.983,94 kg (halófitas a US\$ 9.00 kg<sup>-1</sup>, US\$ 10.00 kg<sup>-1</sup> e US\$ 11.00 kg<sup>-1</sup>, respectivamente) e 20.870 kg de camarão (vendido por US\$ 6.50 kg<sup>-1</sup>) (Tabela 7).

Tendo em vista os diferentes volumes/preços de vendas propostos, a probabilidade de perda ao longo de 11 ciclos (11 UPs) foi simulada, devido a fatores inesperados que poderiam comprometer a produção (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Os melhores resultados só foram possíveis usando preços de venda de US\$ 11.00 kg<sup>-1</sup> para halófitas e US\$ 6.50 kg<sup>-1</sup> para camarões, resultando em TIR de 12,51%, VPL de US\$ 57,780.54 a uma taxa de 10% e RCI apresentando em 6,51 anos. Assim, a ocorrência de mais de um evento de perda de cultura poderia comprometer seriamente a atividade.

Avaliamos a TIR e o RCI adicionando diferentes porcentagens sobre o preço da ração (10 e 20%), modeladas com ou sem a mesma porcentagem sobre o preço de venda por quilo de camarão (Figura 5). Avaliando os valores dos insumos e preços de venda atribuídos à produção de camarão na perspectiva de mercados futuros, a atratividade e, portanto, a rentabilidade do negócio (TIR e RCI) foram colocadas em dúvida (Figura 5a e b, respectivamente).

**Tabela 7** – Indicadores econômicos da produção aquapônica entre *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei*, considerando três preços por quilo da halófito, março de 2017<sup>1</sup>.

	Unid.	Preço de venda (US\$ kg <sub>halofita</sub> <sup>-1</sup> )		
		9.00	10.00	11.00
Receita Bruta_Ano 1	US\$	222,434.86	239,451.68	256,468.50
Receita Bruta_Anos 2 a 9	US\$	304,384.55	327,670.72	350,956.89
Receita Bruta_Ano 10	US\$	245,849.06	264,657.12	283,465.18
Lucro Operacional_Ano 1	US\$	30,214.36	47,231.18	64,247.99
Lucro Operacional_Anos 2 a 9	US\$	56,644.03	79,930.20	103,216.37
Lucro Operacional_Ano 10	US\$	22,366.41	41,174.47	59,982.54
Margem Bruta_Ano 1	%	15,72	24,57	33,42
Margem Bruta_Anos 2 a 9	%	22,86	32,26	41,66
Margem Bruta_Ano 10	%	10,01	18,42	26,84
Índice de Lucratividade_Ano 1	%	13,58	19,72	25,05
Índice de Lucratividade_Anos 2 a 9	%	18,61	24,39	29,41
Índice de Lucratividade_Ano 10	%	9,10	15,56	21,16
Taxa Interna de Retorno (TIR)	%	1,20	8,63	14,95
Valor Presente Líquido (VPL) 10%	%	-163.529,19	-27.871,66	107.785,87
Valor Presente Líquido (VPL) 15%	%	-221.511,69	-111.202,32	-892,94
Retorno do Capital Investido (RCI)	Anos	9,84	7,34	5,97
Ponto de Equilíbrio_ <i>S. ambigua</i> _Ano 1	kg Ano <sup>-1</sup>	8.984,39	8.085,95	7.350,86
Ponto de Equilíbrio_ <i>S. ambigua</i> _Anos 2 a 9	kg Ano <sup>-1</sup>	10.440,21	9.396,19	8.541,99
Ponto de Equilíbrio_ <i>S. ambigua</i> _Ano 10	kg Ano <sup>-1</sup>	9.758,15	8.782,33	7.983,94
Ponto de Equilíbrio_ <i>L. vannamei</i> _Ano 1	kg Ano <sup>-1</sup>	17.132,47		
Ponto de Equilíbrio_ <i>L. vannamei</i> _Anos 2 a 9	kg Ano <sup>-1</sup>	23.658,25		
Ponto de Equilíbrio_ <i>L. vannamei</i> _Ano 10	kg Ano <sup>-1</sup>	20.870,67		

<sup>1</sup> Montante expresso em dólar americano = R\$ 3,113 (<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/batch/taxas.asp?id=txdolar>), acessado em 1 de março de 2017;

Fonte: Dados da Pesquisa

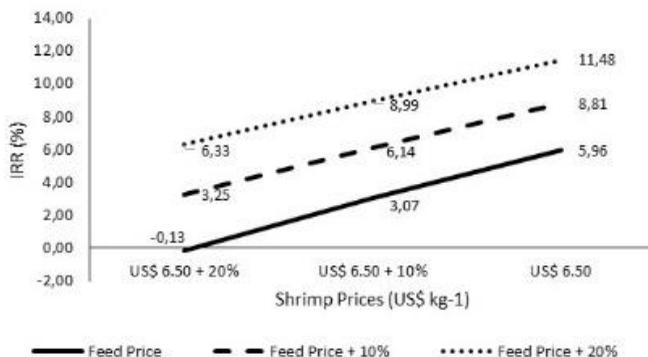
**Tabela 8** – Análise da sensibilidade dos indicadores econômicos da produção aquapônica entre *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei*, considerando a perda de 11 ciclos (culturas) no primeiro ano, março de 2017<sup>1</sup>.

	Unid	Preço de venda (US\$ kg <sub>halofita</sub> <sup>-1</sup> )		
		9.00	10.00	11.00
Receita Bruta_Ano 1	US\$	158,045.82	170,136.72	182,227.62
Receita Bruta_Anos 2 a 9	US\$	304,384.55	327,670.72	350,956.89
Receita Bruta_Ano 10	US\$	245,849.06	264,657.12	283,465.18
Lucro Operacional_Ano 1	US\$	-14,939.66	-2,848.76	9,242.14
Lucro Operacional_Anos 2 a 9	US\$	56,644.03	79,930.20	103,216.37
Lucro Operacional_Ano 10	US\$	22,366.41	41,174.47	59,982.54
Margem Bruta_Ano 1	%	-8,64	-1,65	5,34
Margem Bruta_Anos 2 a 9	%	22,86	32,26	41,66
Margem Bruta_Ano 10	%	10,01	18,42	26,84
Índice de Lucratividade_Ano 1	%	-9,45	-1,67	5,07
Índice de Lucratividade_Anos 2 a 9	%	18,61	24,39	29,41
Índice de Lucratividade_Ano 10	%	9,10	15,56	21,16
Taxa Interna de Retorno (TIR)	%	-0,50	6,58	12,51
Valor Presente Líquido (VPL) 10%	%	-204.578,29	-73.398,87	57.780,54
Valor Presente Líquido (VPL) 15%	%	-260.776,06	-154.750,09	-48.724,12
Retorno do Capital Investido (RCI)	Anos	10,64	7,97	6,51

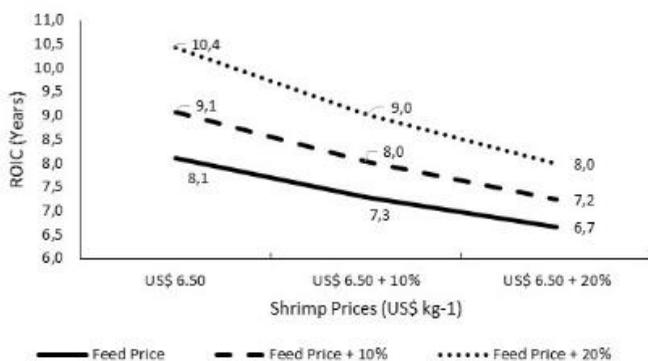
<sup>1</sup> Montante expresso em dólar americano = R\$ 3,113 (<http://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/batch/taxas.asp?id=txdolar>), acessado em 1 de março de 2017.

Fonte: Dados da Pesquisa

(a)



(b)



**Figura 5** – Análise de sensibilidade para produzir *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em um sistema aquapônico, considerando variações com diferentes taxas percentuais sob preço de ração e sob preço final de venda de camarão (10,00 e 20,00%). Análise de sensibilidade sobre a Taxa Interna de Retorno (a) e Retorno sobre o Capital Investido (b). Fonte: Dados da Pesquisa.

## 2.6 DISCUSSÃO

O sistema proposto, com um berçário separado do setor de cultivo, corrobora com estudo desenvolvido por Tokunaga *et al.* (2015). Esses autores afirmam a importância da manutenção da tilápia (*Oreochromis spp.*) em um sistema de Berçário por aproximadamente 105 dias até atingir um tamanho que permita a transferência para os tanques de cultivo aquapônico. Chamorro-Legarda (2015) relata os altos índices zootécnicos (ganho de peso, sobrevivência e produtividade) alcançados ao empregar um sistema de Berçários de camarões marinhos. Essa estratégia garante altas taxas de sobrevivência dos animais no setor de engorda.

O custo de construção foi de 44,23% do investimento total, correspondendo a US\$ 214,956.63. Outros custos consistiam na aquisição de equipamentos de produção (por exemplo, tanques, sistemas hidropônicos e de cultivo e aquecedores). Este desembolso demonstra um encargo financeiro significativo quando se inicia um negócio de sistemas aquapônicos. Em um estudo de viabilidade financeira com a produção de alface e tilápia, Tokunaga *et al.* (2015) relatam o alto custo de investimento da ordem de US\$ 217,078.00 para uma empresa aquapônica de 1.142 m<sup>2</sup>. Esses autores também concluem que aproximadamente 50% do investimento total resulta da aquisição de equipamentos.

No presente estudo, identificou-se que 43,18% do investimento são distribuídos da seguinte forma: 9,37% para a aquisição de equipamentos hidropônicos, 11,90% para equipamentos do cultivo de camarões marinhos e 21,91% para ambos cultivos. Rego *et al.* (2017), comparando os custos de investimento e custo por hectare de produção entre sistemas convencionais e a tecnologia bioflocos (BFT), relatam que os custos usados para o sistema BFT alcançam até dez vezes mais os valores de investimento inicial e produção quando comparados com os sistemas convencionais. Segundo Junge *et al.* (2017), a produção de plantas em sistemas de produção sem solo tem altos custos e requer tecnologia avançada (por exemplo, bombas, aeradores, aquecedores), bem como conhecimento especializado, assim como na aquaponia marinha proposta. Tais descobertas confirmam os altos custos de implementação.

Além disso, segundo Junge *et al.* (2017), a produção comercial de aquaponia pode variar de 150 a 3.000 m<sup>2</sup>, podendo ser aumentada se a produção estiver em uma área periférica da cidade. No presente estudo, uma estratégia de produção que melhoraria financeiramente os ganhos do negócio seria a eliminação do setor de Berçário, juntamente com a aquisição de juvenis de camarão com peso de aproximadamente 1,5 g. No entanto, de acordo com o atual cenário de produção de camarão, uma

demanda significativa seria imposta ao sistema de aquaponia para justificar a produção e comercialização de laboratórios de cultivo de juvenis de camarão. Essa estratégia de excluir o setor de berçário reduziria os custos do empreendimento aquapônico, com a redução da área total do empreendimento e, conseqüentemente, o custo do arrendamento da terra.

Considerando os três períodos avaliados, a soma dos custos de arrendamento e mão-de-obra variou de 28,70% (ano 1) a 20,49 e 22,61% (ano 2 a 9 e ano 10, respectivamente) dos custos totais. Tokunaga *et al.* (2015) argumentam que os custos de mão-de-obra necessários para a aquicultura podem atingir um terço dos custos totais de produção. O valor total do custo operacional, bem como o investimento para a produção aquapônica, pode ser considerado de moderado a alto, uma vez que o local para a sua instalação, como no nosso caso, uma região costeira, possui altos valores. Sanches *et al.* (2014) observam que altos custos de produção podem limitar a atividade operacional e resultar em dificuldades na obtenção de crédito operacional para manter a atividade.

Em produções de monoculturais, os custos dos insumos, como a ração, podem alcançar 70,00% dos custos atribuídos às operações de produção (Valente *et al.*, 2011). Rego *et al.* (2017), atribuiu 37,89% dos custos totais à utilização de ração na produção de *L. vannamei* cultivado em sistema de bioflocos. Shang *et al.* (1998) observa que a ração é considerada um dos maiores custos na produção de camarão marinho na Ásia, com valores que podem variar entre 23 e 40% dos custos totais de produção. Neste estudo, a ração para o camarão marinho foi de 25,47% do custo total (US\$ 1,706.50±207.53). No entanto, o floco microbiano presente no sistema pode reduzir os custos da alimentação pois, como observado anteriormente, ele serve como uma fonte alternativa de alimento (Avnimelech, 2009; Fóes *et al.*, 2012; Samocha *et al.*, 2004).

Rakocy (2012) sugere que a proporção diária entre o consumo de ração e a área plantada seja de 0,057 kg m<sup>-2</sup>. No presente estudo, o cálculo de arraçamento foi de 5% de ração pela biomassa presente na UP, resultando em 1,40 kg de ração ofertada diariamente aos camarões no setor de engorda. Tendo em vista que o empreendimento proposto apresenta uma área plantada de 59,2 m<sup>2</sup> UP<sup>-1</sup>, em sistema NFT, seria assim possível o aporte diário de até 3,37 kg de ração. A importância em se manter produções vegetais onde há o aproveitamento dos nutrientes presentes na água de cultivo dos animais, está na redução dos custos com a aquisição de adubos que compõem a produção vegetal (Hu *et al.*, 2012).

Devido à falta de produção comercial da *Sarcocornia ambigua* no Brasil, a quantidade de quilos produzidos no presente estudo foi avaliada com base na produção comercial de uma planta europeia, a halófito

*Salicornia* sp., comumente produzida e comercializada no Reino Unido e comercializada a 19,00 libras kg<sup>-1</sup> fresca (US\$ 23.79). Estimamos que os valores de CTP por quilograma da halófitas brasileira, produzidos em diferentes períodos deste estudo não atingiram o valor comercial da planta europeia. De fato, o preço de venda mais alto modelado neste estudo foi 46,24% abaixo do mercado europeu na época do estudo.

Os gargalos que comprometem a produção em escala comercial e aumentam o valor de mercado das halófitas dos gêneros *Salicornia* e *Sarcocornia* são apontados por Feng *et al.* (2013). Primeiro, eles fornecem poucas descrições sobre clientes em potencial, consequentemente, é impossível conhecer o melhor produto para atender às demandas de certos nichos. Segundo, o fato de as espécies halófitas desses gêneros serem sazonais comprometeriam a produção ao longo do ano. Além disso, a maior demanda é por produtos recém-colhidos, o que torna a logística de comercialização ainda mais onerosa.

O alto valor comercial da halófitas resulta de sua baixa produção, ou seja, escassez de oferta. Portanto, podemos supor uma diminuição significativa desses valores ao aumentar a oferta dessa espécie a partir da produção aquapônica. Assim com o cultivo de outras espécies de animais, com maiores valores agregados, podem garantir a viabilidade do empreendimento. Exemplos como culturas que apresentam valores de mercado por unidade, como a produção de camarão para isca viva (Castilho-Barros *et al.*, 2014), organismos ornamentais (Kodama *et al.*, 2011; Love *et al.*, 2015), ou matrizes de reprodução, como peixe ou camarões cujos valores podem ser calculados com base na comercialização dos seus descendentes. Ou seja, novos estudos, com outras espécies de halófitas, animais ou outras plantas, devem ser encorajados para medir corretamente a viabilidade econômica e a resiliência de um empreendimento aquapônico diante de futuras mudanças financeiras.

A alta produtividade da halófitas, bem como o alto valor de comercialização, coloca esta planta como a força motriz do empreendimento de aquaponia marinha. Tokunaga *et al.* (2015) identificaram a hidroponia como o principal sistema de um cultivo aquapônico. Na cultura integrada (aquaponia) entre peixes-barramundi (*Lates calcarifer*) e alface (*Lactuca* spp.), Rupasinghe e Kennedy (2010) relatam que a oscilação dos preços de venda de ambas as culturas produziu variações no VPL, afetando principalmente a produção de peixe. No presente estudo, no entanto, utilizando *S. ambigua* e *L. vannamei*, os diferentes valores de comercialização do quilograma produzido comprometeram significativamente a atividade, sendo as halófitas o

produto mais afetado. Para calcular a sensibilidade do negócio, levamos em consideração o preço de venda e/ou a quantidade produzida, seja pela quantidade do produto final por ciclo ou pelo número de ciclos de produção ao longo do tempo.

Separando o setor de berçário de camarão do setor de cultivo (sistemas aquapônicos), avaliou-se os custos do cultivo de camarão usando apenas os itens que correspondem ao cultivo de aquaponia, como tanques, sistema NFT e sistema BFT. Os valores de investimento foram de US\$ 340,683.68, representando 71,82% do total. Ao longo de todo o horizonte de 10 anos, o montante do investimento totalizou US\$ 188,314.71 (ano 1), US\$ 247,637.74 (anos 2 a 9) e US\$ 223,379.86 (ano 10). Considerando apenas a produção de camarão, o CTP foi US\$ 17.67, US\$ 16.98 e US\$ 18.96 kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para os períodos avaliados. Utilizando o sistema aquapônico integrado (*S. ambigua* e *L. vannamei*), o CTP por quilograma de camarão produzido diminuiu para US\$ 10.45, US\$ 14.43 e US\$ 11.52, nos respectivos períodos. Assim, o sistema integrado reduziu os custos de produção de camarão em 40,86% no ano 1, 15,02% nos anos 2 a 9 e 39,24% no ano 10. Pode-se supor que esse efeito resultou do aumento de 48,24% nos custos de investimento atribuídos à produção hidropônica.

Valenti *et al.* (2010) afirmam que devido às grandes incertezas que cercam as diferentes cadeias produtivas aquícolas, a manutenção ou aumento da capacidade de um determinado sistema de produção em adaptar-se a uma eventual má fase do setor, pode ser decisiva para a permanência do produtor na atividade. Graças a diversidade de espécies produzidas, a aquaponia apresenta-se como importante instrumento para garantir a resiliência financeira do empreendimento, frente às adversidades que podem acometer uma produção desse segmento.

Avaliando o aumento de *Salicornia* spp. no sistema de zonas húmidas integrado com ouriços-do-mar (*Paracentrotus lividus*), camarão marinho (*Penaeus semisulcatus*) e duas espécies de macroalgas (*Ulva* spp. e *Enteromorpha* spp.), Bunting e Shpigel (2009) relataram atingir 133,4% de TIR, US\$ 4,926,207.31 de VPL (15%), e RCI em 1,3 anos, para 10 anos de atividade.

Embora os resultados do presente estudo sejam promissores, os indicadores de rentabilidade e investimento não foram claros quanto à aceitação ou rejeição de um projeto com as características estudadas. Entretanto, novos estudos devem ser encorajados a encontrar alternativas que reduzam os custos de produção, especialmente aqueles relacionados ao cultivo de camarões marinhos em um sistema de bioflocos.

Avaliando as variações atribuídas aos preços de venda finais por quilograma da halófitas, verificou-se que apenas o valor da halófitas de US\$ 11.00 kg<sup>-1</sup> foi favorável, com TIR superior a TMA (12,15%), VPL positivo (10%) e RCI em menos de 6 anos. O custo médio do quilograma produzido de *S. ambigua* representou 37,91% do preço de venda estimado mais alto (US\$ 11.00 kg<sub>Halófitas</sub><sup>-1</sup>). Segundo Engle (2015), os preços de venda ao consumidor podem representar percentuais de até 50% dos custos totais de produção quando vendidos diretamente pelo produtor ao consumidor. Savidov e Brooks (2004) e Bosma *et al.* (2017) afirmam que os produtos das culturas aquapônicas, considerados ambientalmente corretos, possuem atratividade socioambiental, possibilitando, portanto, agregar valor ao produto, permitindo preços tipo “*premium*”.

A aquicultura é geralmente considerada uma atividade de alto risco. Engle (2010) aponta as perdas por doenças, problemas relacionados à falta de oxigênio nos tanques, falhas nos equipamentos, falhas elétricas, enchentes e outras questões, como riscos que afetam a renda de uma empresa de aquicultura. Assim, avaliamos a sensibilidade do sistema para a perda de 11 ciclos de produção. Considerando a fragilidade do sistema BFT (Rego *et al.*, 2017), assumimos a possível perda completa de uma colheita de camarão, seja por doença ou por uma possível queda no fornecimento da energia elétrica. Esse fato afetaria diretamente a redução do oxigênio dissolvido na cultura, comprometendo a sobrevivência dos animais, porém, não afetando a produção das halófitas. Caso isso ocorresse, as halófitas seriam o primeiro produto (ou força motriz) do sistema aquapônico. Pelo maior preço de venda da halófitas (US\$ 11.00 kg<sup>-1</sup>), o VPL foi favorável (US\$ 57,780.54), e o TIR superou o TMA. Este fato corrobora com outros sistemas de aquaponia relatados (Tokunaga *et al.*, 2017) onde foi possível inferir que a resiliência do negócio é alicerçado principalmente pela produção e comércio das halófitas. Em alguns casos, a produção de peixe ou camarão em sistemas integrados pode afetar negativamente os lucros da empresa (Bailey *et al.*, 1997; Engle 2015; Bosma *et al.*, 2017).

## 2.7 CONCLUSÃO

O sistema avaliado apresenta-se como uma ferramenta importante para otimizar a produção de alimentos em espaços confinados. Utilizando planos de negócios pessimistas, como alta conversão alimentar, taxa conservadora de sobrevivência do camarão e perda de ciclos, entre outros, verificou-se que a viabilidade econômico-financeira desses sistemas requer um gerenciamento altamente treinado. Os valores relacionados ao

trabalho aumentaram consideravelmente os custos operacionais de um sistema aquapônico com bioflocos.

Mesmo assim, é possível concluir que o cultivo aquapônico entre a halófito *Sarcocornia ambigua* e o camarão marinho *Litopenaeus vannamei* apresenta viabilidade econômica nas condições avaliadas neste estudo. No entanto, ainda é necessário avaliar e identificar os potenciais consumidores para esses produtos através de estudos de mercado, especialmente para os mercados da halófito.

## 2.8 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo de Estudos de Aquaponia Marinha do Laboratório de Camarão Marinho da Universidade Federal de Santa Catarina.

## 2.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS J.B., BATE, G.C. 1994 The effect of salinity and inundation on the estuarine macrophyte *Sarcocornia perennis* (Mill.) A. J. Scott. *Aquat Bot* 47:341–348.

AVNIMELECH, Y. 2006 Bio-filters: the need for a new comprehensive approach. *Aquac Eng* 34(3):172–178.

AVNIMELECH, Y. 2009 *Biofloc technology — a practical guide book*. 2ª Ed. The World Aquaculture Society.

BAILEY, D.S., RAKOCY, J.E.; COLE, W.M.; SHULTZ, K.A. 1997 Economic analysis of a commercial-scale aquaponic system for the production of tilapia and lettuce. In: *Tilapia aquaculture: Proceedings of the Fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, Orlando, Florida, pp. 603–612.

BOSMA, R.H.; LACAMBRA, L.; LANDSTRA, Y. POULIE, J.; SCHWANER, M.J.; YIN, Y. 2017 The financial feasibility of producing fish and vegetables through aquaponics. *Aquac Eng* 78:146–154.

BOXMANN, S.E.; KRUGLICK, A.; MCCARTHY, B.; BRENNAN, N.P.; NYSTROM, M.; ERGAS, S.J.; HANSON, T.; MAIN, K.L.; TROTZ, M.A. 2015 Performance evaluation of a commercial land-based integrated multi-trophic aquaculture system using constructed wetlands and geotextile bags for solids treatment. *Aquac Eng* 69:23–36.

BOXMANN, S.E.; NYSTROM, M.; CAPODICE, J.C.; ERGAS, S.J.; MAIN, K.L.; TROTZ, M.A. 2016 Effect of support medium, hydraulic loading rate and plant density on water quality and growth of halophytes in marine aquaponic systems. *Aquac Res*:1–15.

BROWN, J.J.; GLENN, E.P.; FITZSIMMONS, K.M.; SMITH, S.E. 1999 Halophytes for the treatment of saline aquaculture effluent. *Aquaculture* 175:255–268.

BUNTING, S.W.; SHPIGEL, M. 2009 Evaluating the economic potential of horizontally integrated land-based marine aquaculture. *Aquaculture* 294:43–51.

BURFORD, M.A.; THOMPSON, P.J.; MCINTOSH, R.P.; BAUMAN, R.H.; PEARSON, D.C. 2004 The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. *Aquaculture* 232(1–4):525–537.

BUZBY, K.M.; LIN, L.S. 2014 Scaling aquaponic systems: balancing plant uptake with fish output. *Aquac Eng* 63:39–44.

CASTELLANI, D.; CAMARGO, A.F.M.; ABIMORAD, E.G. 2009 Aquaponia: Aproveitamento do efluente do berçário secundário do Camarão-da-Amazônia (*Macrobrachium amazonicum*) para produção de alface (*Lactuca sativa*) e agrião (*Roripa nasturtium aquaticum*) hidropônicos. *Bioikos* 23(2):67–75.

CASTILHO-BARROS, L.; BARRETO, O.J.S.; HENRIQUES, M.B. 2014 The economic viability for the production of live baits of white shrimp (*Litopenaeus schmitti*) in recirculation culture system. *Aquac Int* 22:1925–1935.

CHAMORRO-LEGARDA, E. 2015 Berçário de camarão em sistema de bioflocos: Densidade de estocagem e substrato artificial. Florianópolis, 61f. (Dissertação de mestrado, Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina).

CHAMORRO-LEGARDA, E.; MENDES, L.G.; BEZERRA, G.G.O.; ESPIRITO SANTO, C.M.; SEIFFERT, W.Q.; VIEIRA, F.N. 2016 Açúcar refinado como fonte de carbono no berçário de camarões cultivados em sistema de bioflocos. *Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo*, 42(2):443–448.

CORREIA, E.S.; WILKENFELD, J.S.; MORRIS, T.C.; WEI, L.; PRANGNELL, D.I.; SAMOCHA, T.M. 2014 Intensive nursery production of the pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* using two commercial feeds with high and low protein content in a biofloc-dominated system. *Aquac Eng* 59:48–54.

CRAB, R.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. 2012 Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. *Aquaculture* 356-357:351–356.

D'OCA, M.G.M.; MORON-VILLARREYES, J.A.; LEMOES, J.S.; COSTA, C.S.B. 2012 Fatty acids composition in seeds of the South American glasswort *Sarcocornia ambigua*. *An Acad Bras Ciênc* 84(3):865–870.

EBELING, J.M.; TIMMONS, M.B.; BISOGNI, J.J. 2006 Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture* 257:346–358.

ENGLE, C.R. 2015 Economics of aquaponics. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC), Report number 5006 .

ESSAIDI, I.; BRAHMI, Z.; SNOUSSI, A.; KOUBAIER, H.B.H.; CASABIANCA, H.; ABE, N.; OMRI, A.E.; CHAABOUNI, M.M.; BOUZOUITA, N. 2013 Phytochemical investigation of Tunisian *S. herbacea* antimicrobial and cytochrome P450 (CYPs) inhibitory activities of its methanol extract. *Food Control* 32:125–133.

FAO (Food and Agriculture Organization) 2014 Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming, Roma, p 266.

FENG, L.; JI, B.; SU, B. 2013 Economic value and exploiting approaches of sea asparagus a seawater-irrigated vegetables. *Agric Sci* 4:40–44.

FÓES GK, GAONA CA, POERSCH LH 2012 Cultivo em bioflocos (BFT) é eficaz na produção intensiva de camarões. *Visão Agrícola (USP/ESALQ)*. p. 28-32.

FRÓES, C.; FÓES, G.; KRUMMENAUER, D.; POERSCH, L.H.; WASIELESKY, W.JR. 2013 Densidade de estocagem na engorda de

camarão-branco cultivado em sistema de biofloco. *Pesq Agrop Brasileira* 4(8):878–884.

GENGMAO, Z.; MEHTA, S.K.; ZHAOPU, L. 2010 Use of saline aquaculture wastewater to irrigate salt-tolerant Jerusalem artichoke and sunflower in semiarid coastal zones of China. *Agric Water Manag* 97:1987–1993.

HENRIQUES, M.B.; MACHADO, I.C.; FAGUNDES, L. 2010 Análise econômica comparativa dos sistemas de cultivo integral e de “Engorda” da ostra *Crassostrea* spp, no estuário de Cananéia, São Paulo, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca, São Paulo*, 36(4):307–316.

HU, Z.; LEE, J.W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; KHANAL, S.K. 2012 Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emission from aquaculture: a review. *Environmental Science Technology* 46(12):6470–6480.

HU, Z.; LEE, J.W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; BROTTTO, A.C.; KHANAL, S.K. 2015 Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresour Technol* 188:92–98.

JUNGE R.; KÖNIG, B.; VILLARROEL, M.; KOMIVES, T.; JIJAKLI, M.H. 2017 Strategic points in aquaponics. *Water* 9:182.

KIM, Y.A.; KONG, C.S.; LEE, J.I.; KIM, H.; PARK, H.Y.; LEE, H.S.; LEE, C.; SEO, Y. 2012 Evaluation of novel antioxidante triterpenoid saponins from the halophyte *Salicornia herbácea*. *BioorgMed Chem Lett* 22:4318–4322.

KODAMA, G.; ANNUNCIACÃO, W.F.; SANCHES, E.G.; GOMES, C.H.A.M.; TSUZUKI, M.Y. 2011 Viabilidade econômica do cultivo do peixe-palhaço, *Amphiprion ocellaris*, em sistema de recirculação. *Bol Inst Pesca* 37(1):61–72.

KRUMMENAUER, D.; PEIXOTO, S.; CAVALLI, R.O.; POERSCH, L.H.; WASIELESKY, W.Jr. 2011 Superintensive culture of White shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in a biofloc technology system in Southern Brazil at different stocking densities. *J World Aquacult Soc* 42(5):726–733.

LENNARD, W.A.; LEONARD, B.V. 2006 A comparison of three hydroponic sub-systems (Gravel Bed, Floating and Nutrient Film Technique) in an aquaponic test system. *Aquac Int* 14:539–550.

LOVE, D.C.; FRY, J.P.; LI, X.; HILL, E.S.; GENELLO, L.; SEMMENS, K.; THOMPSON, R.E. 2015 Commercial aquaponics production and profitability: findings from an international survey. *Aquaculture* 435:67–74.

MARISCAL-LAGARDA, M.M.; PÁEZ-OSUNA, F.; ESQUER-MÉNDEZ, J.L.; GUERRERO-MONROY, I.; VIVAR, A.R.; FÉLIX-GASTELUM, R. 2012 Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low groundwater: management and production. *Aquaculture* 366-367:76–84.

MARTIN, N.B.; SERRA, R.; OLIVEIRA, M.D.M.; ANGELO, J.A.; OKAWA, H. 1998 Sistema integrado de custos agropecuários – CUSTAGRI. *Informações Econômicas* 28(1):7–28.

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P.F.; TOLEDO, P.E.N.; DULLEY, R.D.; OKAWA, H.; PEROSO, I.A. 1976 Metodologia de custo de produção utilizado pelo IEA. *Agricultura em São Paulo* 23(1):123–139.

MONSEES, H.; KEITEL, J.; PAUL, M.; KLOAS, W.; WURTEZ, S. 2017 Potential of aquacultural sludge treatments of aquaponics: evaluation of nutrient mobilization under aerobic and anaerobic conditions. *Aquac Environ Interact* 9:9–18.

MOROYOQUI-ROJO, L.; FLORES-VERDUGO, F.J.; HERNÁNDEZ-CARMONA, G.; CASA-VALDES, M.; CERVANTES-DUARTE, R.; NAVASÁNCHEZ, E.H. 2012 Nutrient removal using two species of mangrove (*Rhizophora mangle* and *Laguncularia racemosa*) in experimental shrimp (*Litopenaeus vannamei*) culture ponds. *Ciências Marinas* 38(2):333–346.

PINHEIRO, I.C.; ARANTES, R.; ESPIRITO SANTO, C.M.; VIEIRA, F.N.; LAPA, K.R.; GONZAGA, L.V.; FETT, R.; BARCELOS-OLIVEIRA, J.L.; SEIFFERT, W.Q. 2017 Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. *Ecol Eng* 100:261–267.

PORTO, E.R.; AMORIM, M.C.C.; DUTRA, M.T.; PAULINO, R.V.; BRITO, L.T.; MATOS, A.N.B. 2006 Rendimento da Atriplex numulária irrigada com efluentes da criação de tilápia em rejeito da dessalinização de água. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10(1):97–103.

QUINTÃ, R.; SANTOS, R.; THOMAS, D.N.N.; LE VAY, L. 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. In: TIDWELL, J.H. (Org.). *Aquaculture Production Systems*, Wiley-Blackwell, Oxford, p. 343–386.

REGO, M.A.S.; SABBAG, O.J.; SOARES, R.; PEIXOTO, S. 2017 Financial viability of inserting the biofloc technology in a marine shrimp *Litopenaeus vannamei* farm: a case study in the state of Pernambuco, Brazil. *Aquac Int* 25:473–483.

RUPASINGHE, J.W.; KENNEDY, J.O.S. 2010 Economic benefits of integrating a hydroponic lettuce system into a barramundi fish production system. *Aquac Econ Manag* 14:81–96.

SABBAG, O.J.; ROZALES, R.R.; TARSITANA, M.A.A.; SILVEIRA, A.N. 2007 Análise econômica da produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em um modelo de propriedade associativa em Ilha Solteira/SP. *Custo e Agronegócio* 3(2):86–100.

SAMOCHA, T.M.; LAWRENCE, A.L.; COLLINS, C.A.; CASTILLE, F.L.; BRAY, W.A.; DAVIES, C.J.; LEE, P.G.; WOOD, G.F. 2004 Production of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in high-density greenhouse-enclosed raceways using low salinity groundwater. *Aquaculture* 15:1–19.

SANCHES, E.G.; HENRIQUES, M.B.; FAGUNDES, L.; SILVA, A.A. 2006 Viabilidade econômica do cultivo da garoupa-verdadeira (*Epinephelus marginatus*) em tanques rede, região sudeste do Brasil. *Informações Econômicas* 36(8):5–25.

SANCHES, E.G.; TOSTA, G.A.M.; SOUZA-FILHO, J.J. 2013 Viabilidade econômica da produção de formas jovens de bijupirá (*Rachycentron canadum*). Bol Inst Pesca 39(1):15–26.

SANCHES, E.G.; SILVA, F.C.; RAMOS, A.P.F.D. 2014 Viabilidade econômica do cultivo de robalo-flecha em empreendimentos de carcinicultura no nordeste do Brasil. Bol Inst Pesca 40(4):577–588.

SAVIDOV, N.; BROOKS, A.B. 2004 Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta. Crop Diversification Centre South, Alberta Agriculture, Food and Rural Development.

SCHVEITZER, R.; ARANTES, R.; BALOI, M.F.; COSTÓDIO, P.F.S.; ARANA, L.V.; SEIFFERT, W.Q.; ANDREATTA, E.R. 2013 Use of artificial substrate in the culture of *Litopenaeus vannamei* (biofloc system) at different stocking densities: effects on microbial activity, water quality and production rates. Aquaculture Engineering 54:93–103.

SHANG, Y.C. 1990 Aquaculture economics analysis: an introduction. In: Sandifer PA (ed) Advances in world aquaculture. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, p 211.

SHANG, Y.C.; LEUNG, P.; LING, B.H. 1998 Comparative economics of shrimp farming in Asia. Aquaculture 164:183–200.

SILVA, E.; SILVA, J.; FERREIRA, F.; SOARES, M.; SOARES, R.; PEIXOTO, S. 2015 Influence of stocking density on the zootechnical performance of *Litopenaeus vannamei* during the nursery phase in a biofloc system. Boletim do Instituto de Pesca, 41(esp.):777–783.

SILVA, H.V. 2016 Efeito do estresse hídrico na produção de compostos bioativos de *Sarcocornia ambigua* em sistema aquapônico com *Litopenaeus vannamei*. Florianópolis, 59f. (Dissertação de mestrado, Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina).

SOARES-NETO, J.R. 2017 Cultivo de *Sarcocornia ambigua* em aquaponia com *Litopenaeus vannamei* em bioflocos com diferentes áreas de bancada hidropônica. Florianópolis, 47f. (Dissertação de mestrado, Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina).

TOKUNAGA, K.; TAMARU, C.; AKO, H.; LEUNG, P. 2015 Economics of small-scale commercial aquaponics in Hawai'i. *J World Aquacult Soc* 46(1):20–32.

TROYO-DIÉGUEZ, E.; ORTEGA-RUBIO, A.; MAYA, Y.; LEÓN, J.L. 1994 The effect of environmental conditions on the growth and development of the oilseed halophyte *Salicornia bigelovii* Torr. in arid Baja California Sur, México. *J Arid Environ* 28:207–213.

VALENTE, L.M.P.; LINARES, F.; VILLANUEVA, J.L.R.; SILVA, J.M.G.; ESPE, M.; ESCORCIO, C.; PIRES, M.A.; SAAVEDRA, M.J.; BORGES, P.; MEDALE, F.; ALVAREZ-BLAZQUEZ, B.; PELETEIRO, J.B. 2011 Dietary protein source or energy levels have no major impact on growth performance, nutrient utilisation or flesh fatty acids composition of market-sized Senegalese sole. *Aquaculture* 318(1–2):128–137.

VALENTI, W.C.; KIMPARA, J.M.; ZAJDBAND, A.D. 2010 Métodos para medir a sustentabilidade na aquicultura. *Revista Panorama da Aquicultura* 119:28–33.

van WYK, P. 1999 Nutrition and feeding of *Litopenaeus vannamei* in intensive culture systems. In: *Farming marine shrimp in recirculating freshwater systems*. Florida Department of Agriculture and Consumer Services, Florida, p 220.

VENTURA, Y.; SAGI, M. 2013 Halophyte crop cultivation: the case for *Salicornia* and *Sarcocornia*. *Environ Exp Bot* 92:144–153.

VENTURA, Y.; WUDDINEH, W.A.; SHPIGEL, M.; SAMOCHA, T.M.; KLIM, B.C.; COHEN, S.; SHEMER, Z.; SANTOS, R.; SAGI, M. 2011 Effects of days length on flowering and yield production of *Salicornia* and *Sarcocornia* species. *Sci Hortic* 130:510–516.

WANG, X.; ZHANG, M.; ZHAO, Y.; WANG, H.; LIU, T.; XIN, Z. 2013 Pentadecyl ferulate, a potent antioxidant and antiproliferative agent from the halophyte *Salicornia herbacea*. *Food Chem* 141:2066–2074.

### 3 CAPÍTULO III: AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO AQUAPÔNICA ENTRE HALÓFITA E O CAMARÃO MARINHO EM ESCALA COMERCIAL

#### 3.1 RESUMO

Diversos estudos têm sido desenvolvidos no âmbito técnico, socioeconômico e ambiental a fim de atender as premissas de sustentabilidade na produção de alimentos. São escassos, no entanto, estudos que apontem os gargalos ambientais de uma produção aquapônica marinha. A metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi aplicada para avaliar os potenciais impactos ambientais associados ao sistema de produção comercial da halófita *Sarcocornia ambigua* e o camarão marinho *Litopenaeus vannamei* cultivados em sistema aquapônico. Foi considerada a Unidade Funcional (UF) de 1 tonelada da halófita produzida, tendo como coproduto a produção de 626 kg do camarão marinho. A etapa de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) demonstrou que a dependência pela utilização de equipamentos de aquecimento da água do cultivo contribuiu para que o processo “Energia elétrica” se apresentasse como o maior promotor dos impactos ambientais, gerando 202,84 kg de SO<sub>2</sub> eq. para a categoria Potencial de Acidificação, 65,63 kg de PO<sub>4</sub> eq. para o Potencial de Eutrofização, 43.044,64 kg de CO<sub>2</sub> eq. para o Potencial de Aquecimento Global, demandou 35.542,58 m<sup>2</sup> de Área Ocupada e 1,53 GJ eq. para a Demanda Acumulativa de Energia. O setor de produção dos camarões juvenis (Setor de Berçário) apresentou maior demanda por água doce na ordem de 29,34 m<sup>3</sup> (24,24%), contrapondo o setor de produção aquapônica (Setor de Cultivo) que demandou 79,91 m<sup>3</sup> de água marinha necessários para produzir a UF. Conclui-se que a ACV provou ser uma ferramenta útil para fornecer transparência e prestação de contas ao longo desse estudo, apontando a necessidade em se buscar alternativas que minimizem os impactos deletérios atribuídos à atividade aquapônica marinha.

**Palavras-chave:** ACV; Halófita; *Sarcocornia ambigua*; *Litopenaeus vannamei*; BFT; Sistemas Integrados.

### 3.2 ABSTRACT

Several studies have been developed in the technical, socioeconomic and environmental scope in order to meet the sustainability assumptions in food production. There are, however, few studies that point out the environmental bottlenecks of a marine aquaponic production. The Life Cycle Assessment (LCA) methodology was applied to evaluate the potential environmental impacts associated with the commercial production system of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and the marine shrimp *Litopenaeus vannamei* grown in an aquaponic system. The Functional Unit (FU) of 1 ton of halophyte produced was considered, with a production of 626 kg of marine shrimp. The Life Cycle Impact Assessment (LCIA) stage demonstrated that the dependence on the use of water heating equipment contributed to the "Electric Energy" process as the main promoter of the environmental impacts, generating 202.84 kg SO<sub>2</sub> eq. for the Potential Acidification category, 65.63 kg PO<sub>4</sub> eq. for the Eutrophication Potential, 43,044.64 kg CO<sub>2</sub> eq. for the Global Warming Potential, demanded 35,542.58 m<sup>2</sup> of Occupied Area and 1.53 GJ eq. for the Cumulative Energy Demand. The sector of production of juvenile shrimps (Sector of Nursery) presented a greater demand for fresh water in the order of 29.34 m<sup>3</sup> (24.24%), as opposed to the sector of aquaponic production (Sector of Cultive) that demanded 79.91 m<sup>3</sup> of required to produce the FU. It is concluded that the LCA proved to be a useful tool to provide transparency and accountability throughout this study, pointing out the need to find alternatives that minimize the deleterious impacts attributed to marine aquaponic activity.

**Keywords:** LCA; Halophytea; *Sarcocornia ambigua*; *Litopenaeus vannamei*; BFT; Integrated systems.

### 3.3 INTRODUÇÃO

Sistemas integrados de produção de alimentos seguem tendência mundial quanto a redução de espaço e de recursos naturais renováveis (p.e. energia elétrica e água), além de otimizar a geração e destinação dos resíduos oriundos dos sistemas produtivos. Entre os sistemas integrados, a aquaponia caracteriza-se por ser um sistema de produção amigável ao meio ambiente onde se integram os cultivos de animais aquáticos (aquicultura) à produção de vegetais sem a utilização de solo (hidroponia) (FAO, 2014; Love et al., 2014). Em países com escassez ou com acesso limitado a água própria para o consumo, a aquaponia tem o importante papel de fornecer proteínas, tanto de origem animal, quanto vegetal, de forma sustentável e responsável à população (Nichols e Savidov, 2012).

Cao (2012) afirma que questões ambientais, econômicas e sociais têm aumentado a preocupação sobre os modelos de produção de organismos aquáticos de forma a torná-los mais ambientalmente amigáveis, economicamente rentáveis e socialmente responsáveis. De acordo com documento emitido pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2014), ao mesmo tempo que cresce a demanda mundial por alimentos, crescem na mesma medida as pressões sobre o consumo de produtos biosseguros, ou seja, livres de produtos químicos e livres de doenças.

Por outro lado, a sociedade exige que as produções sejam mais responsáveis e que os sistemas produtivos causem menos danos ao meio ambiente. Neste embate, o mapeamento dos aspectos e impactos das cadeias produtivas de valor é peça chave, inicialmente para quantificá-los e posteriormente para gerenciá-los em busca de melhorias. Esse nicho de mercado exigente pode ser atendido em grande medida pela produção aquícola integrada, desde que essa atividade de produção seja devidamente adequada aos preceitos da sustentabilidade.

Existem vários métodos empregados na produção aquícola, o que resulta em diferentes alterações ambientais, econômicas e sociais, na região onde está inserido. No entanto, faz-se necessário a identificação e mitigação destes impactos por meio do planejamento adequado da produção juntamente com melhores práticas de gestão e maior eficiência controle do cultivo (Belettini, 2014). De acordo com Love et al. (2015) há uma vertiginosa crescente na prática aquapônica no Mundo, no entanto, algumas lacunas do conhecimento devem ser sanadas, sobretudo com relação aos usos de recursos, análise do custo-benefício e a Avaliação do Ciclo de Vida.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia eficiente para avaliar os potenciais impactos ambientais em diferentes áreas produtivas, identificando e quantificando o uso dos recursos e seus impactos ambientais nos processos de produção (Guinée, 2002; ABNT ISO, 2009a,b; Henriksson et al., 2012; Samuel-Fitwi et al., 2013), apresentando-se, portanto, como importante ferramenta de tomada de decisões (Valenti et al., 2001). A correta avaliação de um produto aquícola utilizando a ACV como instrumento de mensuração e, constatando seu baixo impacto ambiental de produção, além dos benefícios de diminuição dos impactos ambientais quando empregado métodos mais eficientes, traz a possibilidade de aumentos econômicos pois pode-se atribuir rotulagens como “produto ambientalmente amigável” (selo verde), promovendo uma estratégia de marketing, o que agregaria valor ao produto (Barbosa-Junior et al., 2008).

A ACV tem sido utilizada na avaliação dos impactos ambientais das atividades aquapônicas, tais como em Boxman et al. (2016) e Forchino et al. (2017), que apresentaram indicadores de possíveis danos ambientais e sugeriram alternativas para correto manejo da atividade. Boxman et al. (2016) avaliaram os impactos ambientais de um sistema aquapônico comercial entre tilápia (*Oreochromis* sp.) e manjerição (*Ocinum* sp.) no modelo de RAS (*Recirculating Aquaculture Systems*), desenvolvido por Rakocy (2006). Por sua vez, Forchino et al. (2017) apresentaram resultados dos impactos obtidos pela metodologia da ACV da produção aquapônica comercial entre trutas arco-íris (*Onchorynchus* sp.) e alfaces (*Lactuca* sp.) e comparou os resultados de dois sistemas diferentes de produção (RAS e Cama de plantio com mídias). São escassos, no entanto, estudos que avaliam os impactos ambientais atribuídos a produção aquapônica com a integração de camarões marinhos, cultivados em sistema BFT, e plantas halófitas, cultivadas em sistema NFT (*Nutrient Film Technique*).

Assim, pelo exposto, esse estudo tem como objetivo avaliar a sustentabilidade ambiental de um empreendimento de produção aquapônica entre a halófito *Sarcocornia ambigua* e o camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, com vista a identificar os principais gargalos da produção e propor situações de mitigação dos impactos identificados.

### 3.4 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.4.1 Descrição do Sistema Aquapônico

O produto avaliado é oriundo de um empreendimento hipotético de produção aquapônica entre a halófito *Sarcocornia ambigua*, cultivada

em sistema NFT (*Nutrient Film Technique*), e o camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, cultivado em sistema superintensivo com bioflocos (*Biofloc Technology* – BFT), conforme descrito por Castilho-Barros et al. (2018).

A estrutura do empreendimento proposto é estimada em 3.500 m<sup>2</sup> de área total e é composta por um galpão de 80 m<sup>2</sup> para armazenamento de insumos e equipamentos (Almoxarifado), um escritório com 12 m<sup>2</sup>, um laboratório com 268 m<sup>2</sup> (Setor Berçário de camarões), duas estufas de 720 m<sup>2</sup> cada (Setor Cultivo), um viveiro de mudas (250 m<sup>2</sup>) e casa de máquinas (25 m<sup>2</sup>), onde estarão instalados gerador de energia a diesel e sopradores radiais (Figura 3 – Capítulo 2). Foi adotada, arbitrariamente, a distância de 500 metros entre o local de captação da água e o empreendimento.

No Setor de *Berçário*, o sistema de cultivo proposto é o de recirculação de água, com taxa de renovação média de 200% ao dia por tanque. A água marinha captada é armazenada em reservatórios de 20.000 L e, após receber tratamento para assepsia, preencherá os tanques de cultivo. Ao sair do tanque de cultivo, o efluente será bombeado para um sistema de filtragem composto por filtro de areia (para retenção dos sólidos), filtro biológico (para neutralização dos compostos nitrogenados) e um sistema de Luzes Ultravioleta para a eliminação de organismos nocivos ao cultivo, retornando assim aos tanques.

Nesse setor, serão recebidas as PL<sub>S15</sub> sendo cultivados até atingirem peso médio unitário de 1,5g, em período de cultivo estimado em 60 dias. Esses povoarão as Unidades de Produção (UP) do Setor de Cultivo.

No Setor de *Cultivo* (setor onde estarão as estruturas aquapônicas propriamente ditas), os tanques das UPs possuem volume útil de 55 m<sup>3</sup> onde são cultivados os camarões marinhos em sistema BFT juntamente com as halófitas cultivadas em sistema NFT. Decorrido o ciclo produtivo (estimado em 75 dias), faz-se a poda e colheita das halófitas e despesca dos camarões por UP. Na despesca, o tanque é drenado e seu efluente é conduzido para um biodigestor (e desnitrificador) de fundo cônico e confeccionado em PVC. A partir desse biodigestor, parte dessa água (~70%) menos carregada de sólidos, irá para um Tanque de Passagem (TP - 55 m<sup>3</sup> de volume útil) a fim de manter a microbiota do bioflocos em condições para o início de um novo ciclo, servindo então como inóculo para o tanque de origem. Os 30% restantes (~16,5 m<sup>3</sup>), juntamente com os sólidos presentes na porção cônica do biodigestor, seguirão para os bancos de matrizes das halófitas, instalados fora da estufa de cultivo aquapônico (Figura 6).

Nos bancos de matrizes, parte da água oriunda do biodigestor (~1/4 dos 16,5m<sup>3</sup>) será bombeada para o TP instalado dentro das estufas. Ao iniciar um novo ciclo, a água mantida no TP será bombeada para a mesma UP de origem, sendo adicionada água marinha oceânica para completar os 55 m<sup>3</sup> iniciais. Os 3/4 restantes (aproximadamente 12 m<sup>3</sup>) serão descartados pelo mesmo sistema de captação. No local onde estarão dispostas as matrizes, há uma estrutura adequada para que os sólidos presentes no efluente nutra as matrizes e o percolado possa retornar ao mesmo tanque de cultivo (ou descartado), sendo esse menos carregado de nutrientes. Portanto, a estrutura que mantém as matrizes servirá como biofiltro de parte do efluente (Figura 16 e Figura 17 - APÊNDICE 1).

Utiliza-se o açúcar como fonte de Carbono necessário para a formação e manutenção dos flocos microbianos (Avnimelech, 1999). A utilização do sistema de bioflocos como principal sistema de cultivo dos camarões marinhos na produção aquapônica deve-se sobretudo a três fatores: (I) a adoção de altas densidades de estocagem (possibilidade de cultivar 500 camarões.m<sup>-3</sup>), possibilitando assim a otimização no uso de menores áreas para o emprego desta atividade (Ebeling et al., 2006; Avnimelech, 2009; Ray et al., 2009; Ray et al., 2010; Krummenauer et al., 2011; Fóes et al., 2012; Fróes et al., 2013); (II) diminuição do aporte de água no sistema (Wasielecky et al., 2006), que pela correta manutenção dos flocos microbianos, mantém a qualidade da água dentro dos limites toleráveis aos camarões, acarretando numa maior eficiência de produção de biomassa por m<sup>3</sup> de água utilizada; e (III) por ser um agregado de microrganismos, os flocos microbianos servem como importante fonte alternativa de nutrientes (Burford et al., 2004; Samocha et al., 2004; Fóes et al., 2012). A possível redução na utilização de rações, devido ao consumo dos flocos microbianos, pode contribuir para a diminuição dos impactos ambientais decorrentes da utilização da ração (Avnimelech, 2009).

Para efeito de comparação com outros estudos, consideramos a produção da halófito *S. ambigua* como principal produto, tendo como Unidade Funcional (UF) o montante de uma tonelada (1 ton<sub>halófito</sub>) desta planta e 626 kg de camarão marinho como co-produto. Tal estratégia de análise deve-se principalmente pelo total produzido e ao alto valor monetário agregado à halófito (Castilho-Barros et al., 2018). Love et al. (2015), ao avaliarem os “Inputs” (Água, energia elétrica e ração) de uma aquaponia em pequena escala entre tilápias e diversos vegetais, utilizaram ambas as biomassas produzidas como base de cálculo. Boxman et al. (2016) definiram como Unidade Funcional (UF) a produção anual de uma tonelada de tilápias (1 ton ano<sup>-1</sup>), tornando a produção de manjeriço

como co-produto desse sistema. Forchino et al. (2017), por outro lado, avaliaram os impactos da produção de um quilograma de manjeriço (1 kg) e um quilograma de alface tornando a truta como co-produto.

Para ambos os setores, considerou-se o acréscimo de 3,0% por semana de água marinha e 5,0% por semana de água doce. Essas taxas levam em consideração a reposição estimada da quantidade de água evaporada e/ou a manutenção da salinidade em 34 ppm (Partes por milhão).

Não há estudos que quantifiquem o período médio diário de utilização dos aquecedores para a região proposta nesse estudo, assim, Castilho-Barros et al. (2018) definiram a utilização de 12 aquecedores de água, de 40.000 Watts, instalados no interior de cada UPs, sendo ativados 12 horas diárias em média.

### 3.4.2 Avaliação do Ciclo de Vida

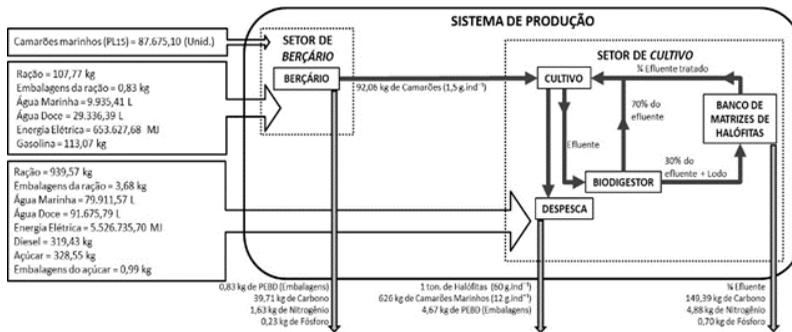
Para avaliar os impactos ambientais do empreendimento proposto, utilizou-se a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) a qual está embasada nas normas da Organização Internacional de Normatização (*International Organization for Standardization – ISO*), NBR ISO 14040 (ABNT 2009a) e NBR ISO 14044 (ABNT 2009b). De modo que este estudo segue as quatro etapas propostas para a realização de uma ACV: (I) definição do objetivo e escopo; (II) análise de inventário do ciclo de vida; (III) avaliação do impacto; e (IV) interpretação dos resultados.

#### 3.4.2.1 Objetivo, Escopo, Unidades Funcionais e Limites do Sistema

O principal objetivo desta avaliação foi identificar e estimar os impactos ambientais de um sistema aquapônico marinho em escala comercial que produz a halófito *Sarcocornia ambigua* e o camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, descrito por Castilho-Barros et al. (2018).

A Unidade Funcional (UF) considerada neste estudo foi a produção de 1.000 kg da halófito e de 626 kg de camarão marinho. Os limites definidos nesse sistema seguem o conceito de avaliação do “Portão-ao-Portão” onde são incluídas as entradas das Pós-Larvas (PL<sub>15</sub>'s) do camarão no Setor de *Berçário*, cultivo das PL<sub>15</sub>; produção aquapônica, colheita da halófito, despesca do camarão (Setor de *Cultivo*), e o processo de aproveitamento dos efluentes para fertirrigação das matrizes da halófito (Figura 6). Não foram considerados nesta análise: a adequação do terreno, instalações e montagens do empreendimento, destinação e/ou processamento pela mortalidade dos camarões e halófitos, processamento pós-colheita, transporte do montante produzido (camarão

e halófitas) para os locais de comercialização ou confecção e descarte dos resíduos plásticos (embalagens de ração e açúcar).



**Figura 6** – Entradas, saídas e fronteiras do sistema de produção aquapônica entre *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei*.  
Fonte: Dados da pesquisa.

### 3.4.2.2 Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

O Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do presente estudo, modelado de acordo com o sistema proposto por Castilho-Barros et al. (2018), engloba os processos e fluxos descritos anteriormente, ajustados de acordo com a Unidade Funcional em relação à necessidade dos insumos utilizados: ração e açúcar (kg total); do uso de recursos naturais: águas marinha e doce (m<sup>3</sup> total); ocupação do solo (m<sup>2</sup> total); e da energia elétrica (kWh) utilizada para bombeamentos, aeração, iluminação e manutenção da temperatura dos cultivos (Tabela 9). Para modelagem dos impactos ambientais atribuídos à ração foram adotadas as informações apresentadas em Galindro (2012). Os dados secundários de produção do açúcar, assim como a produção e manutenção de equipamentos utilizados no cultivo e produção de energia elétrica foram obtidas de acordo com a base de dados *Ecoinvent*® tendo como fonte de energia elétrica utilizada a matriz energética brasileira.

Com relação aos combustíveis fósseis (total em Litros) considerou-se: (a) a gasolina para a logística das PL<sub>15</sub> no momento de sua compra, num trajeto total de 600 km ciclo<sup>-1</sup> (ida e volta) entre o laboratório de produção de camarões e o empreendimento objeto deste estudo; e (b) o diesel necessário para a manutenção de um gerador de energia automático, assumindo a utilização de 66.000 L ao longo dos 10 anos de atividade

Por sua vez, os cálculos que levam em consideração a geração dos sólidos, bem como a geração dos compostos C, N e P, resultante da

lixiviação e o não aproveitamento desses compostos pelos camarões foi baseado no método de balanço de massas (Aubin et al., 2006). Além disso, como produção final estimada tem-se um montante de 20.501,25 kg de juvenis de camarão (peso médio de 1,5 gramas) para o Setor de *Berçário*, e de 222.114,26 kg da halófito e 139.128,00 kg do camarão marinho produzidos no Setor do *Cultivo* (Capítulo 2).

**Tabela 9** – Fluxos para produção de 1 tonelada da halófito *Sarcocornia ambigua* e 626 kg de camarão *Litopenaeus vannamei* produzidos em sistema aquapônico<sup>a</sup>.

<b>ENTRADAS</b>	<b>Unid.</b>	<b>TOTAL</b>
<i>Manejo</i>		
Total de Água Marinha	m <sup>3</sup>	89,85
Total de Água Doce	m <sup>3</sup>	121,01
Total de Ração	kg	1.250,01
Total de Açúcar	kg	328,55
Total de Gasolina (Transporte das PL's)	L	113,07
Total de Diesel (Gerador)	L	319,43
Total de Eletricidade	MJ	6.180.363,38
<i>Entradas pela dieta</i>		
Carbono	kg	756,43
Nitrogênio	kg	65,00
Fósforo	kg	3,75
<b>SAÍDAS</b>		
<i>Efluentes</i>		
Total de Sólidos	L	700,01
Efluente salobro	L	62,97
Carbono	kg	189,11
Nitrogênio	kg	6,50
Fósforo	kg	0,94
<i>Resíduos Sólidos</i>		
Total de Embalagens de Ração	kg	4,51
Total de Embalagens de Açúcar	kg	0,99

### 3.4.2.3 Pressupostos e limitações da análise

Como pressupostos assume-se que:

- Os resultados obtidos levam em consideração os montantes demandados (Insumos, energia elétrica, águas entre outros) e gerados (efluentes) ao final de um horizonte de 10 anos de produção, sendo calculados pelos montantes produzidos (Halófitas e camarões), relacionados a unidade funcional (1 tonelada da halófito e 626 kg de camarão).

- A Conversão Alimentar do Setor de Berçário foi definida em 1,7 e do Setor de Cultivo em 1,5 (Castilho-Barros et al., 2018);

- O Carbono é oriundo em parte pela ração (aproximadamente 50% de acordo com Avnimelech, 2009) e parte do açúcar (40% segundo Avnimelech, 1999), quando utilizado para estimulação do crescimento microbiano que atuará na redução das altas concentrações dos compostos nitrogenados (Amônia, Nitrito e Nitrato);

- O Nitrogênio representa 5,2% da ração (Pinheiro et al., 2017), onde são descontadas as assimilações pelo camarão (30,3% de N) e pelas halófitas (9,2% de N) (Pinheiro, 2017). Considera-se que 40,5% do Nitrogênio (íons de Nitrato –  $\text{NO}_3^-$ ) presente no efluente é desnitrificado no biodigestor (processo anaeróbico), sendo convertido em gás inerte ( $\text{N}_2$ );

- O Fósforo contido na ração representa 0,3% (Cripps e Berghein, 2000), sendo o total gerado descontadas pelas assimilações por parte do camarão (10,6% de P) e das halófitas (7,8% de P), de acordo com Páez-Osuna et al. (1999) e Buhmann et al. (2015), respectivamente. Assume-se ainda que 31,6% do Fósforo fica retido no banco de matrizes e os 50% restantes não aproveitados, são descartados pelo sistema de captação da água marinha;

- Assumiu-se ainda que os compostos gerados no sistema substituem o montante equivalente necessário para a adubação das matrizes das halófitas instaladas nos “Bancos de Matrizes”.

- Considera-se que 56,0% de Total de Sólidos é oriundo da ração (Piedrahita, 2003) e desses, 50% fica retido no próprio sistema (Adubo das matrizes e inóculo de para novo ciclo produtivo). O restante não aproveitado (50%) é descartado assim como o Fósforo;

- Não foram consideradas emissões atmosféricas, assim como os efeitos danosos atribuídos a emissões aéreas.

#### 3.4.2.4 Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida (AICV)

Para avaliar os impactos do ciclo de vida utilizou-se, no software SimaPro® 8.0.2, o método *CML 2* baseline 2000 (versão V1.01 - INRA), desenvolvido na Holanda pelo *Center of Environmental Science* da Universidade de Leiden (Guinée et al., 2001).

Foram avaliados quatro processos (Insumos, Combustíveis, Setor de Berçário e Energia elétrica). Para cada processo foram verificadas as suas contribuições na potencial geração de impactos ambientais das seguintes categorias: Potencial de Acidificação da Água (PAc) em kg de  $\text{SO}_2$  eq., Potencial de Eutrofização da Água (PEu) em kg de  $\text{PO}_4$  eq., Potencial de Aquecimento Global (PAG) em kg de  $\text{CO}_2$  eq. e Demanda

Acumulativa de Energia (DAE) em MJ eq. que referem-se ao total de energia elétrica que entra no sistema frente ao montante de biomassa produzida sendo aplicada metodologia de análise diferenciada das demais categorias (Frischknecht et al., 2007; Aubin et al., 2009; d'Orbcastel et al., 2009; Pelletier e Tyedmers, 2010).

A avaliação da Demanda por Água (Marinha e doce) foi calculada com base no montante necessário para produção de uma tonelada da halófito e 626 kg do camarão marinho, somadas às entradas para reposição por evaporação.

#### 3.4.2.5 Interpretação

A etapa interpretativa focou na análise do perfil ambiental do empreendimento em relação à UF, onde os principais “*drivers*” do sistema foram identificados. Além disso, uma análise de sensibilidade foi elaborada sobre os impactos ambientais causados pela variação das horas de uso dos aquecedores utilizados para manter a temperatura da água do cultivo de camarões e da implementação do sistema de injetores de ar, tipo *NOZZLES* (Krummenauer, 2012). Para tanto, aplicou-se as variações definidas em seis cenários, a saber:

- Cenário 1: utilização de 12 aquecedores de *Titanium* com 40.000 Watts, instalados dentro de cada UP, acionados por 12 horas diárias (média);

- Cenário 2: utilização de 12 aquecedores de *Titanium* com 40.000 Watts, instalados dentro de cada UP, acionados por nove horas diárias (média);

- Cenário 3: utilização de 12 aquecedores de *Titanium* com 40.000 Watts, instalados dentro de cada UP, acionados por seis horas diárias (média);

- Cenário 4: utilização de 12 aquecedores de *Titanium* com 40.000 Watts, instalados dentro de cada UP, acionados por 3 horas diárias (média) sendo esse sistema de aquecimento consorciada a utilização de 12 motobombas periférica de 1 HP (*Horse Power*) instaladas na lateral externa de cada UP, acionadas 24 horas diárias, em sistema de injeção de ar e incorporação térmica por bombeamento;

- Cenário 5: utilização de 12 aquecedores de *Titanium* com 40.000 Watts, instalados dentro de cada UP, acionados por 1 hora diária (média) sendo esse sistema de aquecimento consorciada a utilização de 12 motobombas periférica de 1 HP (*Horse Power*) instaladas na lateral externa de cada UP, acionadas 24 horas diárias, em sistema de injeção de ar e incorporação térmica por bombeamento; e

- Cenário 6: utilização de 12 motobombas periférica de 1 HP (*Horse Power*) instaladas na lateral externa de cada UP, acionadas 24 horas diárias, em sistema de injeção de ar e incorporação térmica por bombeamento;

O sistema de injeção de ar por bombeamento da água do cultivo aqui avaliado consiste de uma motobomba de um HP (*Horse Power*) acoplada na lateral externa de cada UP e 5 *NOZZLES* instalados na lateral interna da respectiva UP. Esse sistema permite a incorporação de até três litros de ar para um de água (Krummenauer, 2012). A manutenção da temperatura da água do cultivo se deve pela incorporação do ar quente (sistema *Venturi*) captado da parte superior do interior da estufa.

### 3.5 RESULTADOS

O sistema de produção aquapônico proposto neste estudo foi dividido em quatro processos (Insumos, Combustíveis, Setor de Berçário, Energia elétrica), e suas contribuições aos impactos ambientais avaliadas para cada categoria (PAC, PEu, PAG, AO e DAE). Avaliou-se também os aspectos ambientais sobre a Demanda por Água marinha e doce ( $DA_{Marinha}$  e  $DA_{Doce}$ ). Os resultados dessas análises são apresentados na Tabela 10.

A Energia elétrica foi a maior responsável pelos impactos ambientais, com grande contribuição sobre todas as categorias de impactos avaliadas. A contribuição desse processo variou de 87,24% para PEu, a 97,52% para DAE (Tabela 10 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

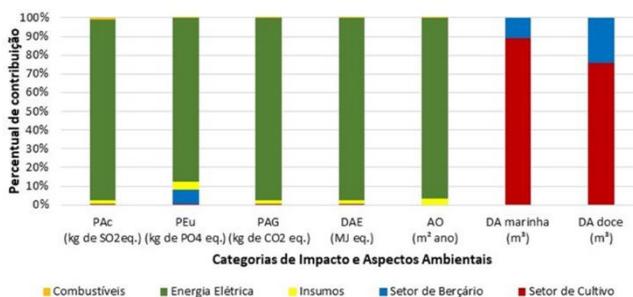
Na categoria de impacto “Potencial de Acidificação” (PAC), o processo “Energia Elétrica” é destacadamente maior contribuinte dessa categoria (Figura 8). Esse processo representa 96,23% das cargas de impactos ambientais avaliadas (202,84 kg de  $SO_2$  eq.). Grande parte desses 202,84 kg de  $SO_2$  eq. é atribuído a demanda de energia para o aquecimento da água no setor de Cultivo, que requer 93,60% de toda a energia necessária ao empreendimento.

O processo “Insumos”, que é a soma do montante necessário de ração e açúcar, é o segundo processo que mais contribuiu para os impactos sobre as categorias de PEu com 3,45 kg de  $PO_4$  eq. (4,58%), AO com  $1.130,90 \text{ m}^2 \text{ ano}^{-1}$  (3,08%), PAC com 4,35 kg de  $SO_2$  eq. (2,06%), DAE com 31.338,89 MJ eq. (2,00%) e PAG com 711,47 kg de  $CO_2$  eq. (1,61%). Cabe salientar que utilizou-se o açúcar como fonte complementar de Carbono necessário para a formação e manutenção dos flocos microbianos (Anvinmelech, 1999).

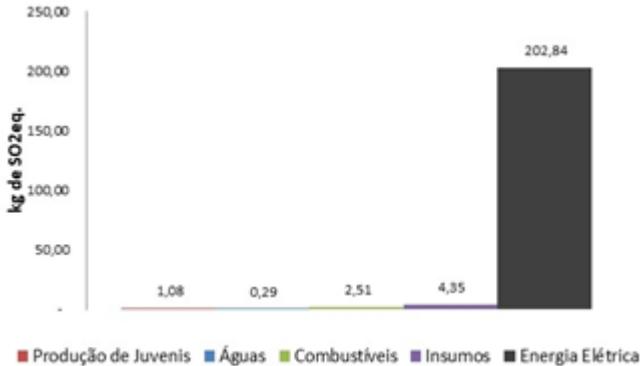
**Tabela 10** – Impactos ambientais por categoria para produção de 1 tonelada da halófito *Sarcocornia ambigua* e 626 kg do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* produzidos em sistema aquapônico.

	CATEGORIAS DE IMPACTO					ASPECTOS AMBIENTAIS	
	PAc	PEu	PAG	AO	DAE	DA <sub>Marinha</sub>	DA <sub>Doce</sub>
<b>Insumos (Ração e Açúcar)</b>	4,35 (2,06%)	3,45 (4,58%)	711,47 (1,61%)	1.130,90 (3,08%)	31.338,89 (2,00%)	-	-
<b>Energia elétrica</b>	202,84 (96,23%)	65,63 (87,24%)	43.044,64 (97,49%)	35.542,58 (96,65%)	1.529.772,99 (97,52%)	-	-
<b>Combustíveis (Diesel e Gasolina)</b>	2,51 (1,19%)	0,10 (0,14%)	51,76 (0,12%)	3,36 (0,01%)	781,50 (0,05%)	-	-
<b>Sector de Berçário</b>	-	5,61 (7,45%)	-	-	-	9,94 (11,06%)	29,34 (24,24%)
<b>Sector de Cultivo</b>	1,08 (0,51%)	0,45 (0,59%)	345,63 (0,78%)	98,30 (0,27%)	6.819,72 (0,43%)	79,91 (88,94%)	91,68 (75,76%)
<b>Total</b>	210,78 (100%)	75,23 (100%)	44.253,50 (100%)	36.775,13 (100%)	1.568.713,10 (100%)	89,85 (100%)	121,01 (100%)

Categorias de Impacto: *PAc*: Potencial de Acidificação (kg de SO<sub>2</sub> eq.); *PEu*: Potencial de Eutrofização (kg de PO<sub>4</sub> eq.); *PAG*: Potencial de Aquecimento Global (kg de CO<sub>2</sub> eq.); *AO*: Área Ocupada (m<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup>); *DAE*: Demanda Acumulada de Energia (MJ eq.); Aspectos ambientais: *DA*: Demanda por Água (Marinha e Doce) (m<sup>3</sup>).

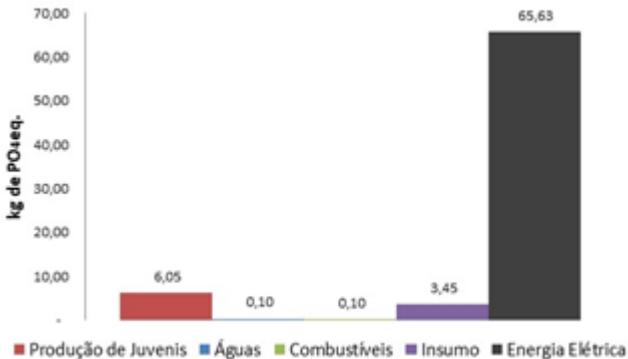


**Figura 7** – Categorias de impacto e suas contribuições relativas (%) por demanda aplicadas ao sistema aquapônico de produção. Categorias de Impacto: *PAc*: Potencial de Acidificação; *PEu*: Potencial de Eutrofização; *PAG*: Potencial de Aquecimento Global; *AO*: Área Ocupada; *DAE*: Demanda Acumulada de Energia; Aspectos ambientais: *DA*: Demanda por Água (Marinha e Doce).



**Figura 8** – Potencial de Acidificação (PAC) para produção de 1 tonelada da halófito *Sarcocornia ambigua* e 626 kg do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* produzidos em sistema aquapônico.

Para categoria PEu (Potencial de Eutrofização), assim como para PAC, a energia elétrica contribuiu sobremaneira nos impactos ambientais, com 65,63 kg de PO<sub>4</sub> eq. (Figura 9). O PEu refere-se ao potencial impacto causados pelos altos níveis de nutrientes despejados no ambiente, em particular Nitrogênio (N) e Fósforo (P) (Jerbi et al., 2012).

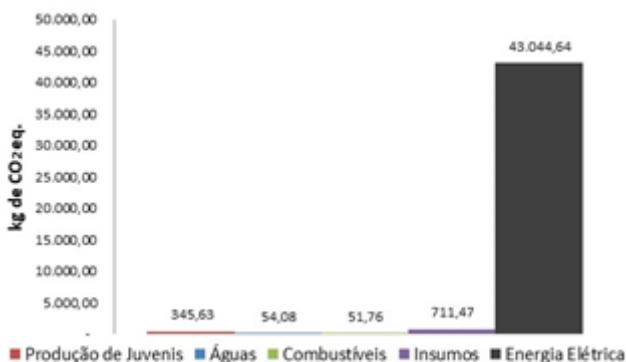


**Figura 9** – Potencial de Eutrofização (PEu) para produção de 1 tonelada da halófito *Sarcocornia ambigua* e 626 kg do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* produzidos em sistema aquapônico.

As categorias de Potencial de Acidificação da Água (PAc) e Potencial de Eutrofização da Água (PEu) referem-se aos possíveis impactos causados pelo excesso de Nitrogênio (N) e Fósforo (P)

provenientes do cultivo dos camarões, caso fossem despejados sem prévio tratamento. No entanto, os resultados aqui obtidos têm relação direta sobre a disposição final do efluente. Atribuiu-se carga máxima de 50% para Carbono e Fósforo e 20% para o Nitrogênio contidos no efluente emitido ao ambiente uma vez que admitimos a absorção de parte desses compostos pela halófitas (Buhmann et al., 2015; Pinheiro et al., 2017), sendo o restante neutralizado no biodigestor, no caso do Nitrogênio (Boxman et al., 2016), e/ou nos bancos de matrizes, para o Fósforo (Krom et al., 1995).

Assim como nas categorias anteriores, o consumo de energia denotou forte contribuição aos impactos para categoria PAG (Potencial de Aquecimento Global), apresentando 43.044,64 kg de CO<sub>2</sub> eq. por tonelada de halófitas produzida, o que representa 97,49% dos impactos para o processo avaliado (Figura 10).



**Figura 10** – Potencial de Aquecimento Global (PAG) para produção de 1 tonelada da halófitas *Sarcocornia ambigua* e 626 kg do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* produzidos em sistema aquapônico.

A categoria Demanda Acumulada por Energia (DAE) apresentou consumo de 1,57 GJ eq. pela UF analisada, índice esse, fortemente representado pelo processo “Energia elétrica”, cujo o maior percentual (97,52%) deve-se a manutenção da temperatura da água (Figura 11). Não há estudos que quantifiquem o período médio diário de utilização dos aquecedores para a região proposta nesse estudo, assim, Castilho-Barros et al. (2018) definiram a utilização de 12 aquecedores de água, de 40.000 Watts, instalados no interior de cada UPs, sendo ativados em média por 12 horas diárias. Percebe-se, desse modo, uma alta oneração financeira e

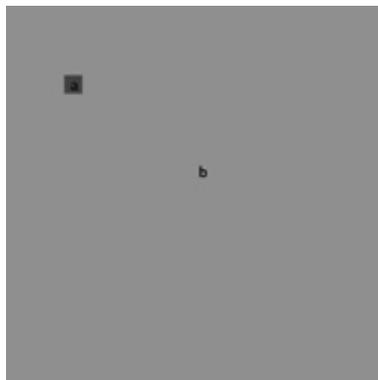
ambiental atribuída à esse montante de energia elétrica necessária para a manutenção do cultivo. No entanto, esses valores devem ser confrontados com dados primários obtidos diretamente do cultivo, tornando o presente estudo um incentivo à sua execução.



**Figura 11** – Demanda Acumulativa de Energia (DAE) para produção de 1 tonelada da halófito *Sarcocornia ambigua* e 626 kg do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* produzidos em sistema aquapônico.

O setor de Berçário aqui avaliado inicia-se com a aquisição das PLs (PLs<sub>15</sub>), sendo considerado desde a logística de compra e a necessidade da utilização de combustível fóssil (Gasolina), até a remoção dos então juvenis de camarões com 1,5 g de peso médio individual, quando seguem para o Setor de Cultivo. São necessário 92,06 kg de juvenis de camarões deste setor para compor 626 kg de camarões com 12 g de peso médio individual (0,012 kg) e embora o sistema de cultivo proposto para esse setor de berçário seja o de recirculação de água, ao qual depende quase que exclusivamente de energia elétrica, esse setor contribui em 7,07% (51,22 GJ eq) da demanda da energia elétrica total.

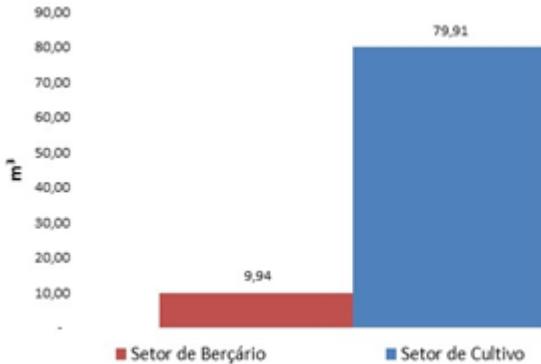
A Figura 12 traz uma representação do total de área necessária (Figura 12 – b), com os 35.542,58 m<sup>2</sup> para a produção de uma tonelada, instalados em 74 m<sup>2</sup> necessários para atingir esse montante de produção (Figura 12 – a).



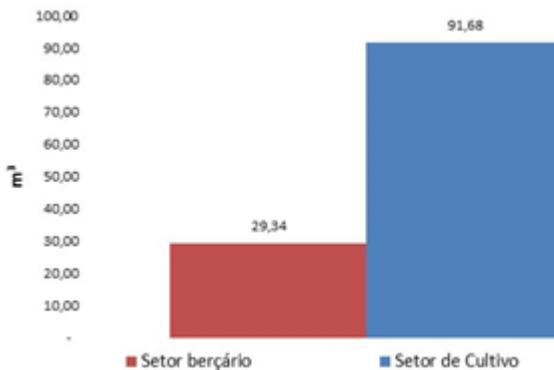
**Figura 12** – Representação da área necessária para a produção de uma tonelada da halófito *Sarcocornia ambigua* de acordo com a metodologia “CML 2 - Baseline 2000 – INRA – CED v1.01.”. (a) Área de 74 m<sup>2</sup>; (b) Área de 35.542,58 m<sup>2</sup>.

Quanto a utilização e necessidade da água (marinha ou doce), esse aspecto ambiental não foi um fator que comprometesse a produção. Para iniciar a atividade objeto deste estudo, houve grande demanda pela água marinha para preenchimento das Unidades de Produção (UPs). Essa necessidade variou de acordo com o setor avaliado. A demanda pela água (DA) foi nitidamente maior no Setor de Cultivo apresentando 79,86 m<sup>3</sup> (88,92%) de água marinha e 91,62 m<sup>3</sup> (75,71%) de água doce por tonelada da halófito produzida (Figura 13 e Figura 14).

A alta Demanda por Água doce (DA<sub>Doce</sub>) do Setor de Cultivo (Figura 14) deve-se principalmente pela manutenção da salinidade de cada UP, tendo o acréscimo semanal estimado em 5% do volume total por UP, além da limpeza de rotina, onde estimou-se um total de 10 m<sup>3</sup> necessários semanalmente (Castilho-Barros et al., 2018). O Setor de Berçário apresenta baixa relação “produção X consumo de água” (kg m<sup>-3</sup>) devido a estratégia de produção proposta, o sistema RAS (*Recirculating Aquaculture System*).



**Figura 13** – Demanda por Água Marinha (DAm) para produção de 1 tonelada da halófito *Sarcocornia ambigua* e 626 kg do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* produzidos em sistema aquapônico.



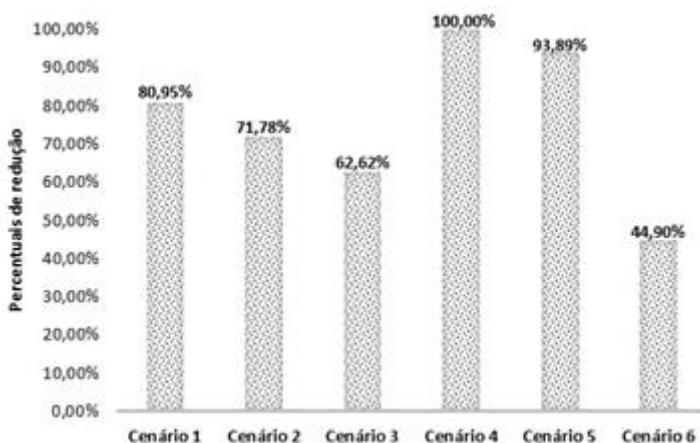
**Figura 14** – Demanda por Água Doce (DAd) para produção de 1 tonelada da halófito *Sarcocornia ambigua* e 626 kg do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* produzidos em sistema aquapônico.

### 3.5.1 Análise Interpretativa

Ao avaliar os impactos ambientais gerados pela produção aquapônica marinha, identificou-se a expressiva participação do processo “Energia elétrica” em todas as categorias avaliadas. Castilho-Barros et al. (2018) atribuíram a utilização de 12 aquecedores automáticos de *Titanium* acionados em média por 12 horas diárias para a manutenção da temperatura em torno de 28°C, ideal para o cultivo do camarão marinho *L. vannamei*. Com os resultados obtidos, buscou-se variar o tempo de acionamento desse sistema, bem como avaliar a utilização de um sistema

misto entre aquecedores e o sistema de incorporação de ar, tipo *venturi*, definido aqui como sistema *Nozzle*.

As variações dos períodos de utilização dos aquecedores revelam as sensíveis diferenças sobre as necessidades do aporte de energia elétrica (Figura 15). As reduções de 12 horas de uso diário (Cenário 1) para 9 horas e 6 horas (Cenários 2 e 3, respectivamente) apresentaram quedas nas exigências por energia elétrica na ordem de 11,33% e 22,64%, respectivamente, para as categorias analisadas.



**Figura 15** – Análise de sensibilidade usando diferentes períodos de utilização dos aquecedores (6, 9 e 12 horas de uso) por categorias de impacto e suas contribuições relativas (%) de acordo com as demandas aplicadas ao sistema aquapônico de produção. *PAC*: Potencial de Acidificação; *PEu*: Potencial de Eutrofização; *PAG*: Potencial de Aquecimento Global; *AO*: Área Ocupada; *DAE*: Demanda Acumulada de Energia.

Ao avaliar os cenários 4 e 5, que levam em consideração a possibilidade da utilização conjunta entre os aquecedores, com menor período de acionamento, e o sistema *Nozzle*, com período integral de atuação, como possível estratégia para redução dos impactos ambientais (custos financeiros), constata a ineficácia desse modelo onde ambos cenários apresentam-se com percentuais de consumo energético acima do modelo proposto por Castilho-Barros et al. (2018).

Embora o cenário 6 apresente os melhores resultados quanto a mitigação dos impactos ambientais, frente aos outros cenários avaliados,

deve-se ter cautela ao afirmar que esse sistema seja o ideal para promoção da manutenção da temperatura da água do cultivo, pois, a análise aqui proposta não levou em consideração as possíveis variações dos índices zootécnicos tais como sobrevivência, tempo de cultivo, conversão alimentar, entre outros.

### 3.6 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para todas as categorias de impactos avaliadas do presente estudo estão acima dos reportados por Boxman et al. (2016), onde, ao avaliarem uma aquaponia comercial entre tilápias (*Oreochromis* sp.) e manjerição (*Ocinum* sp.) cultivados em sistema RAS (*Recirculating Aquaculture Systems*), afirmam que a energia elétrica contribuiu com 93% para PAc, 85% para PEu e 74% para PAG. Forchino et al. (2017) também relatam a energia elétrica como o maior causador de impactos ambientais para dois sistemas avaliados, RAS e Cama com Mídias, em sistema aquapônico comercial entre trutas arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) e alface (*Lactuca sativa*). No entanto, os resultados obtidos por Forchino et al. (2017) apresentaram valores muito abaixo das encontradas nesse estudo e por Boxman et al. (2017). Os elevados valores referentes a energia elétrica do presente estudo podem ser atribuídos principalmente à necessidade da manutenção da temperatura da água do cultivo, uma vez que a estrutura proposta encontra-se na região litorânea do sul do Brasil, onde a temperatura ambiente média no ano de 2017 variou entre 25°C em fevereiro e 16°C em julho.

Para o estudo feito por Boxman et al. (2016), a energia elétrica também teve maior percentual dos impactos para a categoria PAc com 50,5 kg de SO<sub>2</sub> eq. por tonelada de tilápia produzida, representando 93% dos impactos para essa categoria. Forchino et al. (2017), por outro lado, relatam que a energia elétrica contribuiu em 35,6% dos impactos para PAc. Do mesmo modo, Aubin et al. (2009) alertam para os diferentes percentuais de impacto de acordo com a matriz energética da região de estudo, alterando diretamente nos impactos ambientais modelados pela ACV.

Os altos encargos atribuídos ao processo de produção e transmissão de energia elétrica é característica predominante nas atividades aquícolas intensivas como RAS ou bioflocos (Aubin et al., 2009; Samuel-Fitwi et al., 2013; Love et al., 2015; Boxman et al., 2016; Forchino et al., 2017). Para Mungkung et al. (2006), utilizando a UF de 1,8 kg de camarão marinho (*Litopenaeus vannamei*) congelado,

produzido em sistema intensivo na Tailândia, os maiores impactos da categoria PAc estão no processo de “Produção” (fazenda de produção com berçário e engorda), ao qual engloba o uso de energia elétrica e uso de ração, seguido pelo processo “Distribuição”, uma vez que o produto avaliado tem como destino o mercado europeu. Cabe salientar, no entanto, que são necessários 3 kg de camarão vivo para compor 1,8 kg de camarão processado (Mungkung et al., 2006). Belettini (2014), identificou valores que variaram de 140,0 e 313,0 kg de SO<sub>2</sub> eq. para PAc e 120,0 e 248,0 kg de PO<sub>4</sub> eq. para PEu, atribuindo grande parte do impacto a etapa de engorda dos camarões marinhos cultivados em sistema de bioflocos.

Buhmann et al. (2015) sugerem a utilização de halófitas como importante componente de assimilação de nutrientes (N e P) servindo tanto como bioacumulador, ou biofiltrador direto, assim como substrato para bactérias assimiladoras desses compostos. É possível supor que essa estratégia tenha minimizado os efeitos dos impactos ambientais atribuídos a utilização da ração. De acordo com Pinheiro (2017), um m<sup>2</sup> de área planta com 80 plantas halófitas cultivadas em sistema *NFT* foram capazes de assimilar aproximadamente 9,2% do Nitrogênio total aportado ao cultivo de camarões via ração. Assim, de acordo com Castilho-Barros et al. (2018), e atribuindo a mesma proporção relatada por Pinheiro et al. (2017), a quantidade de halófitas que compõem a UF seria capaz de assimilar cerca de 50 kg (78,7%) de Nitrogênio gerado.

O Potencial de Aquecimento Global (PAG) é tratado aqui como sendo o impacto das emissões na absorção de radiação de calor da atmosfera. Cabe salientar que a base de cálculo do Carbono presente no efluente leva em consideração a assimilação por parte dos camarões e das halófitas (Avnimelech, 1999; Katschnig, 2013), e o retorno de 70% da água de cultivo para iniciar novo ciclo de produção (Castilho-Barros et al., 2018). Não foi estimado, no entanto, a absorção média, ou potencial de absorção do CO<sub>2</sub> pela halófita. Esse resultado pode contribuir positivamente para a mitigação dos efeitos negativos causados durante o cultivo aquapônico, atribuindo assim o conceito de Sequestro de Carbono ao empreendimento.

Nota-se que os resultados obtidos para a categoria PAG são fortemente induzidos pelo processo “Energia Elétrica”. No estudo proposto por Boxman et al. (2016), os processos que mais contribuíram para os impactos ambientais para essa categoria foram a “Energia elétrica”, com 446 kg de CO<sub>2</sub> eq. (74%), seguido pela ração que contribuiu com 2.700 kg de CO<sub>2</sub> eq. (32%) o que corrobora com os resultados aqui apresentados. Forchino et al. (2017), relatam que a energia elétrica foi

responsável direto por 43,3% e 35,4% dos impactos para os sistemas aquapônicos tipo RAS e Cama de cultivo, respectivamente. Novamente, entende-se que os altos valores obtidos no presente estudo devem-se ao aquecimento da água do cultivo.

Os altos valores no consumo de energia elétrica são esperados em produções aquícolas superintensivas e em sistemas de recirculação ou troca zero de água (como é o caso do sistema de bioflocos). Aubin et al. (2009), comparando as produções de trutas arco-íris (*O. mykiss*) em sistema de fluxo contínuo de água, com o peixe popularmente conhecido como “Sea-bass” ou robalo europeu (*D. labrax*) cultivados em gaiolas flutuantes e língüados (*S. maximus*) cultivados em sistema de recirculação de água, identificaram o elevado consumo de energia para o último sistema estudado, com demandas de 37.132, 9.191 e 250.010 MJ eq, respectivamente. Novamente atribui-se à alta tecnologia a grande demanda por energia elétrica.

Jerbi et al. (2012) relatam serem necessários 4.940 e 4.260 m<sup>2</sup> ano<sup>-1</sup> para a produção do Robalo Europeu (*D. labrax*) nos sistemas “Raceway Cascata” e “Raceway Tradicional”, para produção de 1 tonelada de peixe vivo, respectivamente. Assim como em outras categorias avaliadas a “Energia elétrica” foi o processo que mais impactou a Demanda Acumulativa de Energia (DAE) da produção aquípônica marinha avaliada (*S. ambigua* e *L. vannamei*). Esse fato deve-se sobretudo a geração e distribuição da energia que apresentou maior contribuição aos impactos.

Jerbi et al. (2012) relatam a alta demanda de eletricidade exigida pelo berçário de “Sea bass” consumindo 40,7% (114.000 MJ eq.) do total para o Sistema de Raceway em Cascata e 50,3% (88.000 MJ eq.) para produção em Raceway Tradicional. De acordo com os resultados associados ao PAG, a eletricidade consumida pelo Raceway em Cascata durante o processo de criação é cinco vezes mais importante do que a eletricidade consumida pelo Raceway Tradicional durante o mesmo processo.

De acordo com Aubin et al. (2009), produções aquícolas cuja energia elétrica dependa de fontes não renováveis elevam os percentuais de impactos, indicando altas cargas negativas ao ambiente atribuídas a esses processos, como exemplo, o caso da Grécia, onde, de acordo com a Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency – IEA*), aproximadamente 71% da sua matriz energética não é renovável (43% carvão, 17% gás e 11% combustível fóssil). A matriz energética brasileira, por sua vez, é composta por 56,5% de fontes não renováveis e 43,5% de fontes renováveis, de modo que os impactos ambientais

associados ao consumo de energia no Brasil tendem a ser menores que em comparação a produções aquícolas em outros países. Entretanto, ao analisar os itens que compõem a rede de formação dos fluxos de processos constata-se que a queima de biomassa representa 98,2% dos impactos causados para geração de energia.

Modernas produções aquícolas buscam alternativas para diminuir a dependência energética, minimizando assim, os efeitos dos impactos ambientais da sua produção (Jerbi et al., 2012), como exemplo a utilização de placas fotovoltaicas ou equipamentos mais eficientes. Love et al. (2015) sugerem que a utilização consorciada entre propano e energia elétrica, podem promover o aquecimento da água do cultivo diminuindo a pressão dos impactos decorrentes desse processo.

Boxman et al. (2016), ao avaliarem os encargos ambientais dos sistemas RAS e Cama de plantas, afirmam que um sistema de recirculação de água aplicada à produção aquapônica pode diminuir a necessidade por energia elétrica, além de minimizar os efeitos negativos da produção aquapônica devido a retenção e a correta destinação dos sólidos e nutrientes provenientes do cultivo.

Os efeitos negativos dos impactos ambientais atribuídos a categoria “ $DA_{Doce}$ ” podem ser minimizados utilizando-se água captada pelas chuvas (Love et al., 2015). De acordo com informações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a precipitação média para o ano de 2017, para região do litoral sul do Brasil (Estados do PR, SC e RS), foi de aproximadamente 128,1 mm ( $128 \text{ L m}^{-2}$ ). Esse valor pode contribuir sensivelmente para a redução dos impactos sobre a  $DA_{Doce}$  do sistema.

Boxman et al. (2016) afirmam que o tratamento da água antes da sua destinação final contribuiu em até 111% na redução dos impactos ambientais do sistema avaliado. Esses autores relatam ainda a neutralização dos efeitos negativos para os processos de construção, utilização de químicos, ração e energia elétrica decorrente do tratamento do efluente. Forchino et al. (2017) apresentam dois sistemas mais eficiente com relação a  $DA_{Doce}$ . Para esses autores, a produção de 1 kg de alface necessita de  $0,02 \text{ m}^3$  de água ( $20 \text{ m}^3 \text{ ton}_{\text{Alface}}^{-1}$ ). Comparativamente ao montante de  $DA_{\text{Marinha}}$  e  $DA_{Doce}$  necessários para a produção da halófito *S. ambigua*, os resultados obtidos por Forchino et al. (2017) podem ser atribuídos, em certa medida à produtividade da alface, cuja gramatura varia de 5 a 2 alfaces por kg (com pesos unitários variando de 0,2 a 0,4 kg respectivamente), o curto período do ciclo de produção desse vegetal (aproximadamente de 21 dias) e o adensamento de 30 plantas por  $\text{m}^2$  (Forchino et al., 2017).

São escassos estudos que identifiquem e comparem os encargos ambientais provenientes de produções que utilizem sistemas como a tecnologia biofoco e RAS. Embora não tenha sido o objetivo deste estudo, tal análise poderá contribuir para a tomada de decisão quanto ao sistema a ser empregado tanto no setor de berçários, quanto nos setores de cultivo (engordas).

### 3.7 CONCLUSÃO

O sistema avaliado apresentou-se como importante instrumento de produção aquícola devido principalmente pela minimização dos impactos ambientais atribuídos ao emprego de insumos, notadamente a “Ração”. Ao minimizar os efeitos deletérios da geração de Nitrogênio e Fósforo que poderiam ser descartados totalmente no ambiente, o efeito da utilização do processo “Energia elétrica” causou os maiores impactos em todas as categorias avaliadas. Esses resultados mostram a importância em se buscar formas alternativas de prover a produção aquapônica com equipamentos mais eficientes e/ou a aplicação da atividade em regiões onde as temperaturas médias sejam superiores a 25°C.

Cabe denotar, no entanto, que este estudo foi avaliado de acordo com a Unidade Funcional de uma tonelada da produção da halófito (1 ton<sub>Halófito</sub>) e 626 kg de camarão marinho como coproduto sendo os “Input” e “Outputs” quantificados e qualificados proporcionalmente à essa unidade. Essa metodologia leva em consideração a complexidade para estimar tecnicamente as entradas e saídas do sistema em relação ao horizonte de tempo proposto (10 anos), bem como sobre os totais produzidos. Assim, sugere-se que estudos futuros devam ser validados tecnicamente, com acompanhamento rotineiro para assim compor conclusões mais precisas sobre a totalidade dos encargos ambientais.

A utilização da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como metodologia de análise, mostrou-se eficaz na identificação e avaliação dos impactos ambientais. Esses apontamentos são essenciais para as tomadas de decisão quanto aos investimentos para instalações e operacionalização das diversas atividades aquícolas.

De modo geral, conclui-se que a produção aquapônica marinha entre a halófito *Sarcocornia ambigua* e o camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, apresenta pontos de grandes impactos ambientais. Deve-se, no entanto, aprofundar os estudos com vistas a buscar equipamentos e alternativas de cultivos mais eficientes a fim de minimizar a pressão ambiental proveniente dessa atividade. Entende-se que sistemas integrados de produção aquícola devam ser encorajados e incentivados

devido principalmente à otimização de recursos em detrimento ao montante produzido.

### 3.8 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos pesquisadores do Grupo de Estudos em Ciclo de Vida, Laboratório de Camarões Marinhos e do Grupo de Estudos em Aquaponia.

### 3.9 REFERÊNCIAS

ABNT ISO. 2009a NBR ISO 14.040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e Estrutura. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT ISO. 2009b NBR ISO 14.004: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Aubin, J.; Papatryphon, E.; Van Der Werf, H.M.G.; Petit, J; Morvan, Y.M. 2006. Characterisation of the environmental impact of a turbot (*Scophthalmus maximus*) re-circulating production system using life cycle assessment. *Aquaculture*, 261(4): 1259-1268. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.09.008>

Aubin, J.; Papatryphon, E.; Van Der Werf, H.M.G.; Chatzifotis, S. 2009. Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 17(1): 354–361. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.08.008>

Avnimelech, Y. 1999. Carbon/Nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture*, 176(1): 227-235.

Avnimelech, Y. 2009. *Biofloc Technology—A Practical Guide Book*. 2ª Ed. The World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, United State. 182 pp.

Barbosa-Junior, A.F.; Morais, R.M.; Emerciano, S.V.; Pimenta, H.C.D.; Gouvinhas, R.P. 2008. Conceitos e aplicações da Análise do Ciclo de Vida (ACV) no Brasil. *Revista Gerenciais*, São Paulo, 7(1): 39-44.

Belettini, F. 2014. Análise do Ciclo de Vida (ACV) como indicador de desempenho ambiental no cultivo de camarões marinhos. 126f. (Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina). Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/129694/331868.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 22 maio 2018.

Boxmann, S.E.; Kruglick, A.; McCarthy, B.; Brennan, N.P.; Nystrom, M.; Ergas, S.J.; Hanson, T.; Main, K.L.; Trotz, M.A. 2015. Performance evaluation of a commercial land-based integrated multi-trophic aquaculture system using constructed wetlands and geotextile bags for solids treatment. *Aquacultural engineering*, 69(1): 23-36. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.09.001>

Boxmann, S.E.; Nystrom, M.; Capodice, J.C.; Ergas, S.J.; Main, K.L.; Trotz, M.A. 2016. Effect of support medium, hydraulic loading rate and plant density on water quality and growth of halophytes in marine aquaponic systems. *Aquaculture research*, 1(1): 1-15. <https://doi.org/10.1111/are.13083>

Buhmann, A.K.; Waller, U.; Wecker, B.; Papenbrock, J. 2015. Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. *Agriculture Water Management*, 149(1): 102–114. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.11.001>

Burford, M.A.; Thompson, P.J.; McIntosh, R.P.; Bauman, R.H.; Pearson, D.C. 2004. The contribution of flocculated material to shrimp (*Litopenaeus vannamei*) nutrition in a high-intensity, zero-exchange system. *Aquaculture*, 232(1-4): 525–537. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00541-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00541-6)

Buzby, K.M.; Lin, L.S. 2014. Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering*, 63(1): 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2014.09.002>

Cao, L. 2012. Farming shrimp for the future: A sustainability analysis of shrimp farming in China. 159 p. (Tese de Doutorado. Universidade de Michigan, Michigan/EUA). Disponível em: [https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/91554/caoling\\_1.pdf?sequence=1](https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/91554/caoling_1.pdf?sequence=1) Acessado em: 13 jun 2018.

Castilho-Barros, L.; Almeida, F.H.; Henriques, M.B.; Seiffert, W.Q. 2018. Economic evaluation of the commercial production between Brazilian samphire and whiteleg shrimp in an aquaponics system. *Aquaculture International*, 22(1): 1-20. <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0277-8>

Cripps, S.J.; Bergheim, A. 2000. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquaculture Engineering*, 22(1): 33-56. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(00\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(00)00031-5)

Ebeling, J.M.; Timmons, M.B.; Bisogni, J.J. 2006. Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257(1-4): 346-358. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.03.019>

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>, acessado em 28 de junho de 2018.

FAO - Food and Agriculture Organization. 2014. Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming, Roma, p. 266.

Fóes, G.K.; Gaona, C.A.; Poersch, L.H. 2012. Cultivo em bioflocos (BFT) é eficaz na produção intensiva de camarões. *Visão Agrícola (USP / ESALQ)*. p. 28-32.

Frischknecht, R.; Jungbluth, N.; Althaus, H.; Doka, G.; Dones, R.; Hirschier, R.; Hellweg, S.; Umbert, S.; Margni, M.; Nemecek, T.; Spielmann, M. 2003. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods; EcoInvent Report 3; Swiss Center for LCI: Duebendorf, Switzerland. Disponível em: <[www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/03\\_LCIA-Implementation.pdf](http://www.ecoinvent.org/fileadmin/documents/en/03_LCIA-Implementation.pdf)> Acessado em: 03 maio 2018.

Fróes, C.N.; Fóes, G.; Krummenauer, D.; Poersch, L.H.S.; Wasieleski JR., W. 2013. Densidade de estocagem na engorda de camarão-branco cultivado em sistema de bioflocos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 48(8): 878-884. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013000800010>

Galindro, B.M. 2012. Análise técnica e avaliação do ciclo de vida de culturas de produção de microalgas para biodiesel. 92p. (Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina). Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/99431/311998.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acessado em: 17 maio 2018.

Guinée, J.B.; Gorée, M.; Heijungs, R.; Huppes, G.; Kleijn, R.; De Koning, A.; Van Oers, L.; Sleswijk, A.W.; Suh, S.; De Haes, H.A.U.; De Bruijn, H.; Van Duin, R.; Huijbregts, M.A.J. 2001. Life Cycle Assessment - An Operational Guide to the ISO Standards. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(5):311-313 <https://doi.org/10.1007/BF02978897>

Henriksson, P.; Guinée, J.; Kleijn, R.; De Snoo, G. 2012. Life cycle assessment of aquaculture systems—A review of methodologies. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17(3): 304. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0369-4>

Hu, Z.; Lee, J.W.; Chandran, K.; Kim, S.; Brotto, A.C.; Khanal, S.K. 2015. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology*, 188(1): 92-98.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). (Sem data, on line) <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>> Acesso em 28 de junho de 2018.

IEA - International Energy Agency. 2017. Energy policies of IEA countries. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyPoliciesofIEACountriesGreeceReview2017.pdf>> Acessado em 12 jun 2018.

Jerbi, M.; Aubin, J.; Garnaoui, K.; Achour, L.; Kacem, A. 2012. Life Cycle Assessment (LCA) of two rearing techniques of sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture Engineering*, 46(1): 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.10.001>

Katschnig, D.; Broekman, R., Rozema, J. 2013. Salt tolerance in the halophyte *Salicornia dolichostachya* Moss: Growth, morphology and

physiology. *Environmental and Experimental Botany*, 92(1): 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.04.002>

Krom, M.D.; Ellner, S.; Van Rijn, J.; Neori, A. 1995. Nitrogen and phosphorus cycling and transformations in a prototype 'non-polluting' integrated mariculture system, Eilat, Israel. *Marine Ecology Progress Series*, 118(1): 25-36. <https://doi.org/10.3354/meps118025>

Krummenauer, D. 2012. Otimização do manejo para o cultivo do camarão-branco *Litopenaeus vannamei* em sistema de estufas com bioflocos. 160 p. (Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande). Disponível em: <[http://www.aquicultura.furg.br/images/stories/TESES/dariano\\_krummenauer\\_tese\\_doutorado.pdf](http://www.aquicultura.furg.br/images/stories/TESES/dariano_krummenauer_tese_doutorado.pdf)> Acessado em: 03 abr 2018.

Love, D.C.; Fry, J.P.; Genello, L.; Hill, E.S.; Frederick, J.A.; Li, X.; Semmens, K. 2014. An International Survey of Aquaponics Practitioners. *PLoS ONE* 9(7): e102662. doi:10.1371/journal.pone.0102662

Love, D.C.; Uhl, M.S.; Genello L. 2015. Energy and water use of a small-scale raft aquaponic system in Baltimore, Maryland, United State. *Aquaculture Engineering*, 68(1): 19-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaeng.2015.07.003>.

Love, D.C.; Fry, J.P.; Li, X.; Hill, E.S.; Genello, L.; Semmens, K.; Thompson, R.E. 2015. Commercial Aquaponics Production and Profitability: Findings from an International Survey. *Aquaculture*, 435(1): 67-94. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.09.023>

Mungkung, R.T.; De Haes, H.A.U., Clift, R. 2006. Potentials and limitations of life cycle assessment in setting ecolabelling criteria: a case study of Thai shrimp aquaculture product. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(1): 55 – 59. <https://doi.org/10.1065/lca2006.01.238>

Nichols, M.A.; Savidov, N.A. 2012. Aquaponics: Protein and vegetables for developing countries. *Acta Hort. (ISHS)* 958(1):189-193. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.958.22>

Páez-Osuna, F., Guerrero-Galván, S.R., Ruiz-Fernández, A.C. 1999. Discharge of nutrients from shrimp farming to coastal waters of the Gulf

of California. *Marine Pollution Bulletin*, 38(7): 585-592.  
[https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00116-7](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00116-7)

Pelletier, N.; Tyedmers, P. 2010. Life cycle assessment of frozen tilapia fillets from Indonesian lake-based and pond-based intensive aquaculture systems. *Journal of Industrial Ecology*, 14(3): 467-481.  
<https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00244.x>

Piedrahita, R.H. 2003. Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*, 226(1-4): 35-44. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00465-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00465-4)

Pinheiro, I.C.; Arantes, R.; Espirito Santo, C.M.; Vieira, F.N.; Lapa, K.R.; Gonzaga, L.V.; Fett, R.; Barcelos-Oliveira, J.L.; Seiffert, W.Q. 2017. Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. *Ecological Engineering*, 100(1): 261-267.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.12.024>

Rakocy, J.E.; Masser, M.P.; Losordo, T.M. 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture. SRAC Publication, 454(1): 1-16.

Ray, A.J.; Shuler, A.J.; Leffler, J.; Browdy, C.L. 2009. Microbial ecology and management of bioflocs systems in Browdy, C.L. and D.E. Jory, editors. *The Rising Tide, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Farming*. World aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.

Roque D'Orbcastel, E.; Blancheton, J.P.; Aubin, J. 2009. Towards environmentally sustainable aquaculture: Comparison between two trout farming systems using life cycle assessment original research article. *Aquacultural Engineering*, 40(3): 113-119.  
<https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.10.001>

Samocha, T. M.; Lawrence, A. L.; Collins, C. A.; Castille, F. L.; Bray, W. A.; Davies, C. J.; Lee, P. G.; Wood, G. F. 2004. Production of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in high-density greenhouse-enclosed raceways using low salinity groundwater. *Aquaculture*, 15: 1-19. [https://doi.org/10.1300/J028v15n03\\_01](https://doi.org/10.1300/J028v15n03_01)

Samuel-Fitwi, B.; Nagel, F.; Meyer, S.; Schroeder, J.P.; Schulz, C. 2013. Comparative life cycle assessment (LCA) of raising rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) in different production systems. *Aquaculture Engineering*, 54(1): 85-92. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.12.002>

Valenti, W.C.; Kimpara, J.M.; Zajdband, A.D. 2010. Métodos para medir a sustentabilidade na aquicultura. *Revista Panorama da Aquicultura*, 119(1): 28-33.

Wasielesky, W.; Atwood, H.; Stokes, A.; Browdy, C. L. 2006. Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 258(1-4): 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.04.030>.



#### 4 CONCLUSÃO GERAL

- 1) O cultivo integrado entre a halófito *Sarcocornia ambigua* e o camarão marinho *Litopenaeus vannamei* apresenta viabilidade econômico-financeira para sua execução;
- 2) Os altos custos atribuídos ao cultivo do camarão marinho, são amenizados pelo baixo custo de produção e alto valor de venda da halófito;
- 3) A utilização conjunta das metodologias de avaliação econômica e da ACV mostraram-se complementares e eficazes quanto as tomadas de decisão referentes a produção; e
- 4) Para que a produção aquapônica marinha possa se desenvolver nos três estados do sul do País, equipamentos modernos e métodos de cultivos eficazes devem ser explorados e profundamente incentivados.



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo indicam a grande possibilidade de atuação e exequibilidade da produção aquícola integrada, sobretudo a aquaponia. A planta estudada, *Sarcocornia ambigua*, mostra-se como importante cultivar à ser explorada na produção aquícola marinha. Entretanto, faz-se necessário identificar os potenciais compradores dessa halófito e, a partir de um robusto diagnóstico, estimar o montante necessário para suprir a possível demanda.

O consórcio na utilização das metodologias de avaliação econômica e do Ciclo de Vida do produto mostrou-se eficiente por serem complementares na identificação dos gargalos econômicos e ambientais de sistemas de produção. Essas metodologias, quando utilizadas concomitantemente, apresentam um vasto panorama para tomadas de decisão.

Os resultados aqui obtidos, podem fortalecer as sugestões para a efetiva implantação de sistemas integrados de produção aquícola, primeiro em escala piloto, para afinar os dimensionamentos e manejos, e posteriormente, com a identificação dos agentes consumidores da halófito, espera-se a formação de uma unidade de produção experimental ou comercial propriamente dita.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2009a NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 20p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas 2009b NBR ISO 14044: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 46p.

ADAMS, J.B. e BATE, G.C. 1994 The effect of salinity and inundation on the estuarine macrophyte *Sarcocornia perennis* (Mill.) A. J. Scott. 47: 341-348.

AGOSTINHO, F.D.R. 2005 Uso de análise emergética e sistema de informações geográficas no estudo de pequenas propriedades agrícolas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. 252p.

ALONSO, M.A. e CRESPO, M.B. 2008 Taxonomic and nonmenclatural notes on South American taxa of *Sarcocornia* (Chenopodiaceae). *Ann. Bot. Fennici.* 45: 241-254.

AUBIN, J.; PAPATRYPHON, E.; VAN DER WERF, H.M.G.; PETIT, J.; MORVAN, Y.M. 2006 Characterisation of the environmental impact of a turbot (*Scophthalmus maximus*) re-circulating production system using Life Cycle Assessment. *Aquaculture*, 261: 1259–1268.

AUBIN, J.; PAPATRYPHON, E.; VAN DER WERF, H.M.G.; CHATZIFOTIS, S. 2009 Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 17: 354–361

AUBIN, J.; BARUTHIO, A.; MUNGKUNG, R.; LAZARD, J. 2015 Environmental performance of brackish water polyculture system from a life cycle perspective: a Filipino case study. *Aquaculture*, 435: 217–227.

AVADÍ, A.; PELLETIER, N.; AUBIN, J.; RALITE, S.; NÚÑEZ, J.; FRÉON, P. 2015 Comparative environmental performance of artisanal and commercial feed use in Peruvian freshwater aquaculture. *Aquaculture*, 435: 52–66.

AVNIMELECH, Y. 2009 **Biofloc Technology—A Practical Guide Book**. 2ª Ed. The World Aquaculture Society.

AYER, N.W. e TYEDMERS, P.H. 2009 Assessing alternative aquaculture technologies: Life Cycle Assessment of salmonid culture systems in Canada. *Journal of Cleaner Production*, 17: 362–373.

BARBIERI JÚNIOR, R.C. e OSTRENSKY NETO, A. 2001 Camarões marinhos: reprodução, maturação e larvicultura. Viçosa: **Aprenda Fácil**, 255p.

BELETTINI, F. 2014 Análise do Ciclo de Vida (ACV) como indicador de desempenho ambiental no cultivo de camarões marinhos. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 126p.

BOISSY, J.; AUBIN, J.; DRISSI, A.; Van Der WERF, H.M.G.; BELL, G.J.; KAUSHIK, S.J. 2011 Environmental impacts of plant-based salmonid diets at feed and farm scales. *Aquaculture*, 321: 61–70.

BOSMA, R.H.; HANH, C.T.T.; POTTING, J. 2009 Environmental Impact Assessment of the Pangasius Sector in the Mekong Delta Wageningen University, 50p.

BOSMA, R.; ANH, P.T.; POTTING, J. 2011 Life cycle assessment of intensive striped catfish farming in the Mekong Delta for screening hotspots as input to environmental policy and research agenda. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16: 903–915.

BOXMAN, S.E. 2015 Resource recovery through halophyte production in marine aquaponics: and evaluation of the nutrient cycling and the environmental sustainability of aquaponics. Tese (Doutorado) – University of South Florida, Ann Arbor. 235p.

BOXMAN, S.E.; MAIN, K.; NYSTROM, M.; ERGAS, S.J.; TROTZ, M.A. 2015 Aquaponic system produces red drum, saltwater vegetable species. *The advocate*. Jul/Ago.

BOXMAN, S.E.; ZHANG, Q.; BAILEY, D.; TROTZ, M.A. 2016 Life cycle assessment a commercial-scale freshwater aquaponic system. *Environmental Engineering Science*, 34: 299–311.

BROWN, J.J.; GLENN, E.P.; FITZSIMMONS, K.M.; SMITH, S.E. 1999 Halophytes for the treatment of saline aquaculture effluent. *Aquaculture*, 175: 255-268.

- BUCHSPIES, B.; TÖLLE, S.J.; JUNGBLUTH, N. 2011 Life cycle assessment of high-sea fish and salmon aquaculture. *SEU-Services Ltd.*, 26p.
- BUNTING, S.W. e SHPIGEL, M. 2009 Evaluating the economic potential of horizontally integrated land-based marine aquaculture. *Aquaculture*, 294: 43-51.
- CAO, L.; DIANA, J.S.; KOELEIAN, G.A. 2011 Life cycle assessment of chinese shrimp farming systems targeted for export and domestic sales. *Environmental Science & Technology*, 45(15): 6531-6538.
- CAO, L. 2012 Farming shrimp for the future: a sustainability analysis of shrimp farming in china. Tese (Doutorado) – The University of Michigan, Ann Arbor/US. 159p.
- CAO, L.; DIANA, J.S.; KEOLEIAN, G.A. 2013 Role of Life Cycle Assessment in sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 5: 61–71.
- CASHION, T.; HORNBERG, S.; ZIEGLER, F.; HOGNES, E.S.; TYEDMERS, P. 2016 Review and advancement of the marine biotic resource use metric in seafood LCAs: A case study of Norwegian salmon feed. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21: 1106–1120.
- CHEN, X.; SAMSON, E.; TOCQUEVILLE, A.; AUBIN, J. 2015 Environmental assessment of trout farming in France by Life Cycle Assessment: Using bootstrapped principal component analysis to better define system classification. *Journal of Cleaner Production*, 87: 87–95.
- CLAUDINO, E.S. e TALAMINI, E. 2013 Análise do ciclo de vida (ACV) aplicada ao agronegócio – Uma revisão de literatura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17: 77-85.
- COSTA, W.M. 2004 Efeito da proteína vegetal na qualidade de água dos efluentes da carcinicultura. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 69p.
- CRAB, R.; AVNIMELECH, Y.; DEFOIRDT, T.; BOSSIER, P.; VERSTRAETE, W. 2007 Nitrogen removal techniques in aquaculture for a sustainable production. *Aquaculture*, 270: 1-14.

CHAMBERLAIN, G. 2010 History of shrimp farming. In: ALDAY-SANZ, V. (Ed). The Shrimp Book. Nottingham: **Nottingham University Press**. p. 1-34.

CHERUBINI, E.; ZANGHELINI, G.M.; TAVARES, J. M.R.; BELETTINI, F.; SOARES, S.R. 2014 The finishing stage in swine production: influences of feed composition on carbon footprint. *Environmental, development and sustainability*, v. online.

DAVIES, W. 2010 Life Cycle Assessment in aquaculture: 'Not a single event, but a combination of processes'. *Global Aquaculture Advocate*, May/June.

D'OCA, M.G.M.; MORON-VILLARREYES, J.A.; LEMOES, J.S.; COSTA, C.S.B. 2012 Fatty acids composition in seeds of the South American glasswort *Sarcocornia ambigua*. *Anais Acad. Bras. Ciênc.*, 84(3): 865-870.

D'ORBCASTER, R.E.; BLANCHETON, J.P.; AUBIN, J. 2009 Towards environmentally sustainable aquaculture: comparison between two trout farming systems using life cycle assessment. *Aquacultural Engineering*, 40: 113–119.

EBELING, J.M.; TIMMONS, M.B.; BISOGNI, J.J. 2006 Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia-nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257: 346-358.

ELLINGSEN, H. e AANONDSSEN, S.A. 2006 Environmental impacts of wild caught cod and farmed salmon — A comparison with chicken. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1: 60–65.

ELLINGSEN, H.; OLAUSSEN, J.O.; UTNE I.B. 2009 Environmental analysis of the Norwegian fishery and aquaculture industry – A preliminary study focusing on farmed salmon. *Marine Polic*, 33: 479–488.

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

ESSAIDI, I.; BRAHMI, Z.; SNOUSSI, A.; KOUBAIER, H.B.H.; CASABIANCA, H.; ABE, N.; OMRI, A.E.; CHAABOUNI, M.M.; BOUZOUITA, N. 2013 Phytochemical investigation of Tunisian *S. herbacea* antimicrobial and cytochrome P450 (CYPs) inhibitory activities of its methanol extract. *Food Control*, 32: 125-133.

EWOUKEN, T.E.; AUBIN, J.; MIKOLASEK, O.; CORSON, M.S.; EYANGO, M.T.; TCHOUMBOUE, J.; van der WERF, H.M.G.; OMBREDANE, D. 2012 Environmental impacts of farms integrating aquaculture and agriculture in Cameroon. *Journal of Cleaner Production*, 28: 208-214.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Fisheries and Aquaculture Statistical Database. Disponível em <<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-aquaculture-production/query/en>>. Acessado em julho de 2015.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2018 The States os World Fisheries and Aquaculture: Meeting the sustainable development goals. Roma 210p.

FÓES, G.K.; GAONA, C.A.; POERSCH, L.H. 2012 Cultivo em bioflocos (BFT) é eficaz na produção intensiva de camarões. *VisãoAgrícola (USP / ESALQ)*. p. 28-32.

FORCHINO, A.A.; LOURGUIOUI, H.; BRIGOLIN, D.; PASTRES, R. 2017. Aquaponics and sustainability: The comparison of two different aquaponic techniques using the Life Cycle Assessment (LCA). *Aquacultural Engineering*, 77: 80-88.

FRÓES, C.N.; FÓES, G.; KRUMMENAUER, D.; POERSCH, L.H.S.; WASIELESKI JR., W. 2013 Densidade de estocagem na engorda de camarão-branco cultivado em sistema de biofloco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48: 878-884.

GIWA, A. 2017 Comparative cradle-to-grave life cycle assessment of biogas production from marine algae and cattle manure biorefineries. *Bioresource Technology*, 244: 1470-1479.

GRABER, A. e JUNGE, R. 2009 Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination*, 246(1-3): 147-156.

GRÖNROOS, J.; SEPPÄLÄ, J.; SILVENIUS, F.; MÄKINEN, T. 2006 Life cycle assessment of Finnish cultivated rainbow trout. *Boreal Environmental Research*, 11: 401–414.

GUINÉE, J.; KLEIJN, R.; HENRIKSSON, P. 2010 Environmental Life Cycle Assessment of South-East Asian Aquaculture Systems for Tilapia, Pangasius Catfish, Penaeid Shrimp and Macrobrachium Prawns - Goal & Scope Definition Report. **Sustaining Ethical Aquaculture Trade**, 53p.

HARGREAVES, J.A. 2006 Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. *Aquaculture Engineering*, 34: 344-363.

HENRIKSSON, P.; GUINÉE, J.; KLEIJN, R.; DE SNOO, G. 2012 Life cycle assessment of aquaculture systems — A review of methodologies. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17, 304.

HOROWITZ, S. e HOROWITZ, A. 2002 Microbial intervention in aquaculture. In: Microbial Approaches to Aquatic Nutrition within Environmentally Sound Aquaculture Production Systems, 2002, Baton Rouge. Proceedings of Microbial Approaches to Aquatic Nutrition within Environmentally Sound Aquaculture Production Systems. Baton Rouge: The World Aquaculture Society, 119-131p.

HU, Z.; LEE, J.W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; BROTT, A.C.; KHANAL, S.K. 2015 Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology*, 188: 92-98.

IRIBARREN, D.; MOREIRA, M.T.; GUMERSINDO, F. 2010 Revisiting the life cycle assessment of mussels from a sectorial perspective. *Journal of Cleaner Production*, 18: 101–111.

IRIBARREN D.; MOREIRA M.T.; FEIJOO G. 2012 Life Cycle Assessment of Aquaculture Feed and Application to the Turbot Sector. *International Journal of Environmental Research*, 6(4): 837–848

JERBI, M.A.; AUBIN, J.; GARNAOUI, K.; ACHOUR, L.; KACEM, A. 2012 Life Cycle Assessment (LCA) of two rearing techniques of sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquacultural Engineering*, 46: 1-9.

LAZARD, J.; REY-VALETTE, H.; AUBIN, J.; MATHÉ, S.; CHIA, E.; CARUSO, D.; MIKOLASEK, O.; BLANCHETON, J.P.; LEGENDRE, M.; RENÉ, F.; LEVANG, P.; SLEMBROUCK, J.; MORISSENS, P.;

CLEMENTS, O. 2014 Assessing aquaculture sustainability: a comparative methodology. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 21(6): 503-511.

JONELL, M. e HENRIKSSON, P.J.G. 2015 Mangrove–shrimp farms in Vietnam — Comparing organic and conventional systems using life cycle assessment. *Aquaculture*, 447: 66-75.

KIM, Y.A.; KONG, C.; LEE, J.I.; KIM, H.; PARK, H.Y.; LEE, H.; LEE, C.; SEO, Y. 2012 Evaluation of novel antioxidant triterpenoid saponins from the halophyte *Salicornia herbacea*. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 22: 4318-4322.

KIMPARA, J.M.; ZADJBAND, A.D.; VALENTI, W.C. 2012 Métodos para medir a sustentabilidade na aquicultura. **Série documentos 218**.

KRUMMENAUER, D.; PEIXOTO S.; CAVALLI R. O.; POERSCH L.H.; WASIELESKY W.J. 2011 Super-intensive culture of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in a biofloc technology system in southern Brazil at Different Stocking Densities. *Journal of World Aquaculture Society*, 42: 726-733.

LEITE, M.S.; BARROS, F.J.A.; KHOURY, S.H. BONILLA, O.H.; COSTA, C.S.B. 2007 Cultivo de plântulas de *Salicornia gaudichuadiana* Mog. Para uso em bioremediação junto a viveiros de criação de camarão. *Revista Brasileira de Biociências*, 5: 297-299.

LENNARD, W.A. e LEONARD, B.V.A. 2006 Comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14(6): 539–550.

LIGHTNER, D.V. 2003 Exclusion of specific pathogens for disease prevention in a penaeid shrimp biosecurity program. In: LEE, C-S.; O'BRYEN, P. J. Biosecurity in Aquaculture Production Systems: Exclusion of Pathogens and Other Undesirables. *The World Aquaculture Society*. p. 81-116.

LIMA, A.P.S. 2007 Estrutura genética de populações cultivadas do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* em Pernambuco. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 85 p.

McGRATH, K.P.; PELLETIER, N.L.; TYEDMERS, P.H. 2015. Life Cycle Assessment of a novel closed-containment salmon aquaculture technology. *Environmental Science & Technology*, 49(9): 5628-5636.

MUNGKUNG, R.T. 2005 Shrimp aquaculture in Thailand: Application of life cycle assessment to support sustainable development. Doutorado (Tese) – Center for Environmental Strategy, School of Engineering, University of Surrey, Surrey, UK.

MUNGKUNG, R.T.; UDO, D.E.; HAES, H.A.; CLIFT, R. 2006 Potentials and limitations of life cycle assessment in setting ecolabelling criteria: a case study of Thai shrimp aquaculture product. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11: 55–59.

MUNGKUNG, R.; AUBIN, J.; PRIHADI, T.H.; SLEMBROUCK, J.; van der WERF, H.M.; LEGENDRE, M. 2013. Life Cycle Assessment for environmentally sustainable aquaculture management: A case study of combined aquaculture systems for carp and tilapia. *Journal of Cleaner Production*, 57: 249-256.

NATORI, M.M.; SUSSEL, F.R.; SANTOS, E.C.B.; PREVIERO, T.C.; VIEGAS, E.M.M.; GAMEIRO, A.H. 2011 Desenvolvimento da carcinicultura marinha no Brasil e no mundo: avanços tecnológicos e desafios. *Informações Econômicas*, 41(2): 61-73.

NEORI, A.; SHPIGEL, M.; BEN-EZRA, D. 2000 A sustainable integrated system for culture of fish, seaweed and abalone. *Aquaculture*, 186: 279-291.

PÁEZ-OSUNA, F. 2001 The environmental impact of shrimp aquaculture: a global perspective. *Environmental Pollution*, 112: 229-231.

PAPATRYPHON, E., PETIT, J., KAUSHIK, S.J., VAN DERWERF, H.M.G. 2004 Environmental impact assessment of salmonids feeds using Life Cycle Assessment. *Ambio*, 33: 316–323.

PARDO-CARDENAS, Y.; HERRERA-ORZCO, I.; GONZÁLES-DELGADO, A.D.; KAFAROV, V. 2013 Environmental assessment of microalgae biodiesel production in colombia: comparison of three oil extraction systems. *Journal Ciencia, Tecnologia y Futuro*, 5(2): 85-100.

PELLETIER, N.L. e TYEDMERS, P.H. 2007 Feeding farmed salmon: is organic better? *Aquaculture*, 272: 399–416.

PELLETIER, N.L. e TYEDMERS, P.H. 2010 A Life Cycle Assessment of frozen Indonesian tilapia fillets from lake and pond-based production systems. *Journal of Industrial Ecology*, 14: 467–481.

PELLETIER, N.L.; AYER, N.W.; TYEDMERS, P.H.; KRUSE, S.A.; FLYSJO, A.; ROBILLARD, G.; ZIEGLER, F.; SCHOLZ, A.; SONESSON, U. 2007 Impact categories for Life Cycle Assessment research of seafood production systems: Review and Prospectus. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(6): 414-421.

PEREZ-LOPES, P.; LEDDA, F.D.; BISIO, A.; FEIJOO, G.; PERINO, E.; PRONZATO, R.; MANCONI, R.; MOREIRA, M.T. 2017 Life cycle assessment of *in situ* mariculture in the Mediterranean Sea for the production of bioactive compounds from the sponge *Sarcotragus spinosulus*. *Journal of Cleaner Production*, 142(4): 4356-4368.

PHONG, L.T. 2010 Dynamics of sustainability in Integrated AgricultureAquaculture Systems of the Mekong Delta. Doutorado (Tese) – Wageningen Institute of Animal Sciences, Wageningen University.

PHONG, L.T.; DE BOER, I.J.M.; UDO, H.M.J. 2011 Life Cycle Assessment of food production in integrated agriculture–aquaculture systems of the Mekong Delta. *Livestock Science*, 139: 80–90.

PINHEIRO, I.C. 2015 Produção da halófito *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 48p.

PINHEIRO, I.C.; ARANTES, R.; ESPIRITO SANTO, C.M.; VIEIRA, F.N.; LAPA, K.R.; GONZAGA, L.V.; FETT, R.; BARCELOS-OLIVEIRA, J.L.; SEIFFERT, W.Q. 2017 Production of the halophyte *Sarcocornia ambigua* and Pacific white shrimp in an aquaponic system with biofloc technology. *Ecological Engineering*, 100: 261–267

PONGPAT, P. e TONNEGPOOL, R. 2013 Life Cycle Assessment of fish culture in Thailand: case study of Nile tilapia and striped catfish. *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(5): 608–612.

PRADO, M.R. e KASKANTZIS NETO, G. 2005 A análise do ciclo de vida como ferramenta de otimização de processos e gestão ambiental. *Revista Eletrônica Polidisciplinar*, 1: 4-11.

RAKOCY, J.E.; SHULTZ, R.C.; BAILEY, D.S.; THOMAN, E.S. 2004 Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. *ActaHorticulturae* (ISHS), 648: 63-9.

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

RAY, A.J.; SHULER, A.J.; LEFFLER, J.; BROWDY, C.L. 2009 **Microbial Ecology and Management of Bioflocs Systems in Browdy**, C.L. and D.E. Jory, editors. *The Rising Tide, Proceedings of the Special Session on Sustainable Shrimp Farming*. World aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, USA.

RAY, A.J.; LEWIS, B.L.; BROWDY, C.L.; LEFFLER, J.W. 2010 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(1-4): 89–98.

ROMEIRO, L.K. 2013 ACV: ferramenta ambiental para decisões corporativas – Parte II. **Jornal do Conselho Regional de Química IV Região (SP)**. nº 122, ano 22.

ROY, P.; NEI, D.; ORIKASA, T.; XU, Q.; OKADAME, H.; NAKAMURA, N.; SHIINA, T. 2009 A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90: 1-10.

RUPASINGHE, J.A. e KENNEDY, J.O.S. 2010 Economic benefits of integrating a hydroponic lettuce system into a barramundi fish production system. *Aquaculture Economics & Management*, 14: 81-96.

SABBAG, O.J.; ROZALES, R.R.; TARSITANA, M.A. A.; SILVEIRA, A.N. 2007 Análise econômica da produção de tilápias (*Oreochromis niloticus*) em um modelo de propriedade associativista em Ilha Solteira/SP. *Custos e @gronegocio*, 3(2): 86-100.

SAMOCHA, T.M.; LAWRENCE, A.L.; COLLINS, C.A.; CASTILLE, F.L.; BRAY, W.A.; DAVIES, C.J.; LEE, P.G.; WOOD, G.F. 2004

Production of the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in high-density greenhouse-enclosed raceways using low salinity groundwater. *Aquaculture*, 15: 1-19.

SAMUEL-FITWI, B.; WUERTZ, S.; SCHROEDER, J.P.; SCHULZ, C. 2012 Sustainability assessment tools to support aquaculture development, *Journal of Cleaner Production*, 32: 183-192.

SAMUEL-FITWI, B.; MEYER, S.; RECKMANN, K.; SCHROEDER, J.P.; SCHULZ, C. 2013a Aspiring for environmentally conscious aquafeed: comparative LCA of aquafeed manufacturing using different protein sources. *Journal of Cleaner Production*, 52: 225–233.

SAMUEL-FITWI, B.; NAGEL, F.; MEYER, S.; SCHROEDER, J.P.; SCHULZ, C. 2015 Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of raising rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in different production systems. *Aquacultural Engineering*, 54: 85-92.

SAMUEL-FITWI, B.; SCHROEDER, J.P.; SCHULZ, C. 2013c System delimitation in life cycle assessment (LCA) of aquaculture: striving for valid and comprehensive environmental assessment using rainbow trout farming as a case study. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18: 577–589.

SANDER, K. e MURTHY, G.S. 2010 Life cycle analysis of algae biodiesel. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15: 704-714.

SANTOS, A.A.O.; AUBIN, J.; CORSON, M.S.; VALENTI, W.C.; CAMARGO, A.F.M. 2015 Comparing environmental impacts of native and introduced freshwater prawn farming in Brazil and the influence of better effluent management using LCA. *Aquaculture*, 444: 151–159.

SCHUENHOFF, A.; SHPIGEL, M.; LUPATSCH, I.; ASHKENAZI, A.; MSUYA, F.E.; NEORI, A. 2004 A semi-recirculating, integrated system for the culture of fish and seaweed. *Aquaculture*, 221: 167-181.

SCHVEITZER, R. 2012 Efeito dos sólidos suspensos totais na água e dos substratos artificiais sobre o cultivo superintensivo de *Litopenaeus vannamei* com bioflocos. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, p. 134.

SCHVEITZER, R.; ARANTES, R.; COSTÓDIO, P.F.S.; ESPÍRITO SANTO, C.M.; VINATEA, L.; SEIFFERT, W.Q.; ANDREATTA, E.R. 2013a Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. *Aquacultural Engineering*, 56: 59–70.

SCHVEITZER, R.; ARANTES, R.; BALOI, M.F.; COSTÓDIO, P.C.; ESPÍRITO SANTO, C.M.; VINATEA, L.; SEIFFERT, W.Q.; ANDREATTA, E.R. 2013b 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.

SEBRAE. 2008 Aquicultura e pesca: Camarões. In: **Estudos de mercado SEBRAE/ESPM**. 136p.

SEBRAE. 2013 Sobrevivência das empresas no Brasil – **Coleção Estudos e Pesquisas**. Brasília.

SILVA, H.V. 2016 Efeito do estresse hídrico na produção de compostos bioativos de *Sarcocornia ambigua* em sistema aquapônico com *Litopenaeus vannamei*. Florianópolis, 59f. (Dissertação de mestrado, Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina).

SHANG, Y.C. 1986 Research on aquaculture economics-A Review. *Aquacultural Engineering*, 1: 103–108.

SOARES-NETO, J.R. 2017 Cultivo de *Sarcocornia ambigua* em aquaponia com *Litopenaeus vannamei* em bioflocos com diferentes áreas de bancada hidropônica. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 47p.

SOUZA FILHO, J.; COSTA, S.W.; TUTIDA, L.M.; FRIGO, T.B.; HERZOG, D. 2003 Custo de produção do camarão marinho. *Epagri* - Florianópolis, 24p.

SUN, W. 2009 Life Cycle Assessment of indoor recirculating shrimp aquaculture system. Dissertação (Mestrado) – University of Michigan, Ann Arbor, 57p.

TAELMAN, S.E.; DE MEESTER, S.; ROEF, L.; MICHIELS, M.; DEWULF, J. 2013 The environmental sustainability of microalgae as feed for aquaculture: A life cycle perspective. *Bioresource Technology*, 150: 513-522.

TAELMAN, S.E; de MEESTER, S.; SCHAUBROECK, T.; SAKSHAUG, E.; ALVARENGA, R.A.F.; DEWULF, J. 2014 Accounting for the occupation of the marine environment as a natural resource in life cycle assessment: An exergy based approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 91: 1-10.

TIDWELL, J.H. 2012 **Aquaculture production systems**. World Aquaculture Society, Kentucky.

TIMMONS, M.B. e EBELING, J.M. 2007 **Recirculating Aquaculture**. Ithaca, New York.

TROELL, M.; NAYLOR, R.L.; METIAN, M.; BEVERIDGE, M.; TYEDMERS, P.H.; FOLHE, C.; ARROW, K.J.; BARRETT, S.; CRÉPIN, A.S.; EHRILCH, P.R.; GREN, A.; KAUTSKY, N.; LEVIN, S.A.; NYBORG, K.; ÖSTERBLOM, H.; POLASKY, S.; SCHEFFER, M.; WALKER, B.H.; XEPAPADEAS, T.; ZEEUW, A. 2014 Does aquaculture add resilience to the global food system? *Proceedings of the National Academy Science*, 111: 13257–13263.

TROYO-DIÉGUEZ, E.; ORTEGA-RUBIO, A.; MAYA, Y.; LEÓN, J.L. 1994 The effect of environmental conditions on the growth and development of the oilseed halophyte *Salicornia bigelovii* Torr. in arid Baja California Sur, México. *Journal of Arid Environments*. 28: 207-213.

VALENTI, W.; POLI, C.R.; PEREIRA, J.A.; BORGHETT, J.R. 2000. **Aquicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento sustentável**. Ed. CNPq /Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, p. 399.

VALENTI, W.C.; KIMPORA, J.M.; ZAJDBAND, A.D. 2010 Métodos para medir a sustentabilidade na aquicultura. *Revista Panorama da Aquicultura*, Rio de Janeiro, 119: 28-33.

van WYK, P. 2006 Production of *L. vannamei* in Recirculating Aquaculture Systems: Management and Design Considerations, in: Rakestraw, T.T., Douglas, L.S., Marsh, L., Granata, L., Correa, A., Flick,

G.J. (Eds), Proceedings of the 6th International Conference on Recirculation Aquaculture. Roanoke, Virginia, p. 38-47.

VINATEA, L.; GÁLVEZ, A.O.; BROWDY, C.L.; STOKES, A.; VENERO, J.; HAVEMAN, J.; LEWIS, B.L.; LAWSON, A.; SHULER, A.; LEFFLER, J.W. 2010 Photosynthesis, water respiration and growth performance of *Litopenaeus vannamei* in a super-intensive raceway culture with zero water exchange: Interaction of water quality variables. *Aquaculture Engineering*, 42(1): 17-24.

WANG, X.; ZHANG, M.; ZHAO, Y.; WANG, H.; LIU, T.; XIN, Z. 2013 Pentadecyl ferulate, a potent antioxidant and antiproliferative agent from the halophyte *Salicornia herbacea*. *Food Chemistry*, 141: 2066-2074.

WASIELESKY, W.; ATWOOD, H.; STOKES, A.; BROWDY, C.L. 2006 Effect of natural production in a zero exchange suspended microbial floc based super-intensive culture system for white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 258: 396-403.

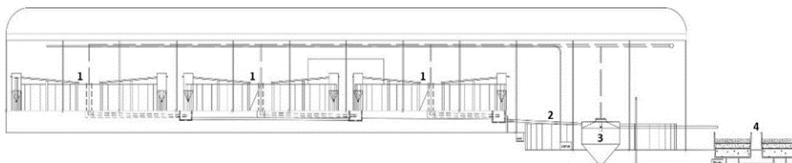
WILFART, A.; PRUDHOMME, J.; BLANCHETON, J.P.; AUBIN, J. 2013 Life Cycle Assessment and emergy accounting of aquaculture systems: towards ecological intensification. *Journal of Environmental Management*, 121: 96-109.

YACOUT, D.M.; SOLIMAN, N.F.; YACOUT, M.M. 2016 Comparative Life Cycle Assessment (LCA) of Tilapia in two production systems: semi-intensive and intensive. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(6): 806-819.

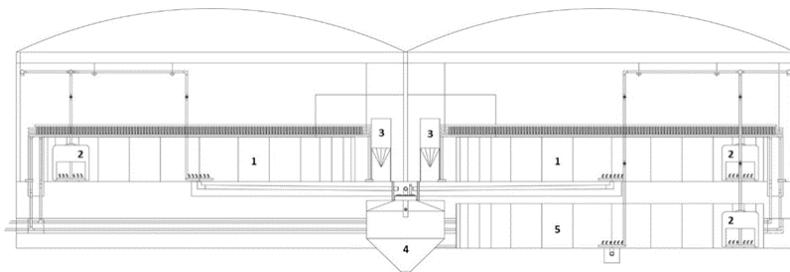
ZAGO, C.A.; WEISE, A.D.; HORNBERG, R.A. 2009 A importância do estudo de viabilidade econômica de projetos nas organizações contemporâneas. In: VI CONVIBRA – Congresso Virtual Brasileiro de Administração. Anais. p.1-15.

## APÊNDICES

### APÊNDICE 1 - Layout da estrutura aquapônica marinha



**Figura 16** – Corte longitudinal de uma das estufas de produção aquapônica. 1- Unidade de produção (UP); 2 – Tanque de passagem (TP); 3 – Biodigestor (Desnitrificador); 4 – Banco de matrizes de *Sarcocornia ambigua*. Fonte: Dados da pesquisa.



**Figura 17** – Corte transversal de uma das estufas de produção aquapônica. 1- Unidade de produção (UP); 2 – Sistema de aeração; 3 – Decantador (Sedimentador); 4 – Biodigestor (Desnitrificador); 5 – Tanque de passagem (TP). Fonte: Dados da pesquisa.

APÊNDICE 2 - Custos para produção da halófito *Sarcocornia ambigua*.**Tabela 11** – Investimentos necessários para produção da *Sarcocornia ambigua*, março de 2017.

Item	Qtd.	Valor Total	Vida Útil	Depreciação	Juros	Total
<b>1. Construção</b>						
<b>Civil</b>						
1.1. Estufa sombrite (250m <sup>2</sup> )	1	1,927.40	10	192.74	115.64	308.38
1.2. Mão de Obra	2	642.47	10	64.25	38.55	102.79
1.3. Bancada de Produção (Estrado)	7	1,349.18	10	134.92	80.95	215.87
<b>2. Equipamentos</b>						
2.1. Bandejas (128 células)	1.124	2,165.47	5(2)	433.09	129.93	563.02
2.2. Regador	1	6.42	5(2)	1.28	0.39	1.67
2.3. Material Hidráulico	1	160.62	5(2)	32.12	9.64	41.76
2.4. Reservatório de Água	1	19.27	10	1.93	1.16	3.08
2.5. Tesoura de Poda	3	16.06	5(2)	3.21	0.96	4.18
<b>3. TOTAL</b>		<b>6,286.90</b>		<b>863.55</b>	<b>377.21</b>	<b>1,240.76</b>

<sup>1</sup> Valores apresentados em Dólar (US\$ = R\$ 3,117).

**Tabela 12** – Índices fitotécnicos para produção da *Sarcocornia ambigua* necessários para utilização no empreendimento aquapônico, março de 2017.

Item	QtDs.
Mudas por UP	11.385
Taxa de enraizamento	95%
Total de mudas necessárias por UP	11.984
Total final de mudas (12 UPs)	143.811
Total de Matrizes	4.794
Área total dos bancos de Matizes (m <sup>2</sup> )	960
Período de cultivo (Dias)	35
Células por bandeja	128
Total de bandejas	1.124

**Tabela 13** – Custos operacionais para produção da *Sarcocornia ambigua*, março de 2017.

Item	COE	Encargos Sociais	Encargos Financeiros	COT	Outros Custos	CTP
1. Mão de obra temporária	5,139.74	2,055.89	863.48	8,059.11		8,059.11
2. Terra adubada	3,031.66		363.80	3,395.46		3,395.46
3. Perlita	4,764.04		571.68	5,335.73		5,335.73
4. Depreciação da Construção Civil					391.90	391.90
5. Depreciação dos equipamentos					471.64	471.64
<b>TOTAL</b>	<b>12,935.44</b>			<b>16,790.30</b>		<b>17,653.84</b>

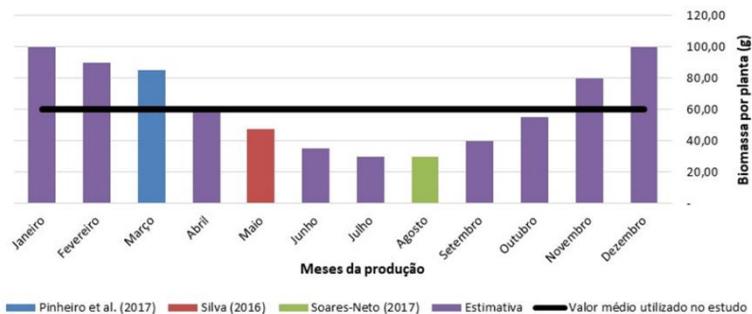
<sup>1</sup> Valores apresentados em Dólar (US\$ = R\$ 3,117).

**Tabela 14** – Custo Total de Produção (CTP) por unidade de *Sarcocornia ambigua* produzida, março de 2017.

Qtd. produzida (Unidades)	COE (US\$/Unid.)	COT (US\$/Unid.)	CTP (US\$/Unid.)
143.811	0.09	0.12	<b>0.12</b>

<sup>1</sup> Valores apresentados em Dólar (US\$ = R\$ 3,117).

APÊNDICE 3 - Cenário de produção anual da halófito *Sarcocornia ambigua*.



**Figura 18** – Produção anual da *Sarcocornia ambigua*. Referencial bibliográfico, produção estimada e média ponderada utilizada como base de cálculo deste estudo. Fonte: Dados da pesquisa.

APÊNDICE 4 - Cronograma da produção aquapônica entre a halófito *Sarcocornia ambigua* e o camarão marinho *Litopenaeus vannamei*.

		Semanas de produção (Ciclo de produção 11 semanas)																									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Tq1	Lot1	Lot1	Lot1	Lot1	Lot1	Lot1	Lot1	Lot1	Lot1	Lot1	Lot1	Lot1	VS	Lot13	VS	Lot25											
Tq2		Lot2	Lot2	Lot2	Lot2	Lot2	Lot2	Lot2	Lot2	Lot2	Lot2	Lot2	VS	Lot14	VS												
Tq3			Lot3	Lot3	Lot3	Lot3	VS	Lot15																			
Tq4				Lot4	Lot4	Lot4	Lot4	Lot4	VS	Lot16																	
Tq5					Lot5	Lot5	Lot5	Lot5	Lot5	Lot5	Lot5	Lot5	Lot5	Lot5	VS	Lot17											
Tq6						Lot6	Lot6	Lot6	Lot6	Lot6	Lot6	Lot6	Lot6	Lot6	Lot6	VS	Lot18										
Tq7							Lot7	Lot7	Lot7	Lot7	Lot7	Lot7	Lot7	Lot7	Lot7	Lot7	VS	Lot19									
Tq8								Lot8	Lot8	Lot8	Lot8	Lot8	Lot8	Lot8	Lot8	Lot8	Lot8	VS	Lot20								
Tq9									Lot9	Lot9	Lot9	Lot9	Lot9	Lot9	Lot9	Lot9	Lot9	Lot9	VS	Lot21							
Tq10										Lot10	VS	Lot22	Lot22	Lot22	Lot22	Lot22	Lot22										
Tq11											Lot11	VS	Lot23	Lot23	Lot23	Lot23	Lot23										
Tq12												Lot12	VS	Lot24	Lot24												

**Figura 19** – Cronograma de produção aquapônica. Ciclo produtivo por lote (LotNº). VS – Vazio Sanitário. Fonte: Dados da pesquisa.