



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PESCA**

**JHONES DE LIMA VIEIRA**

**INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE BIOFLOCOS E PROBIÓTICOS NA MELHORIA  
DA SUSTENTABILIDADE E SEGURANÇA ALIMENTAR NA CARCINICULTURA**

**FORTALEZA**

**2019**

JHONES DE LIMA VIEIRA

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE BIOFLOCOS E PROBIÓTICOS NA MELHORIA DA  
SUSTENTABILIDADE E SEGURANÇA ALIMENTAR NA CARCINICULTURA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientadora: Prof. Dr.<sup>a</sup> Oscarina Viana de Sousa.

Coorientadora: Prof. Dr.<sup>a</sup> Kamila Vieira Mendonça.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

V715i Vieira, Jhones de Lima.  
Influência da aplicação de bioflocos e probióticos na melhoria da sustentabilidade e segurança alimentar na carcinicultura / Jhones de Lima Vieira. – 2019.  
86 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2019.

Orientação: Profa. Dra. Oscarina Viana de Sousa.

Coorientação: Profa. Dra. Kamila Vieira Mendonça.

1. Avaliação Emergética. 2. Microbiologia do Pescado. 3. Biotecnologia. I. Título.

CDD 639.2

---

JHONES DE LIMA VIEIRA

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE BIOFLOCOS E PROBIÓTICOS NA MELHORIA DA  
SUSTENTABILIDADE E SEGURANÇA ALIMENTAR NA CARCINICULTURA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia de Pesca. Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Aprovada em: 25/01/2019.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr.<sup>a</sup> Oscarina Viana de Sousa (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (PPGEP)

---

Prof. Dr.<sup>a</sup> Francisca Gleire Rodrigues de Menezes  
Universidade Federal do Ceará (PPGEP)

---

Prof. Dr. Guilherme Diniz Irffi  
Universidade Federal do Ceará (CAEN)

---

Prof. Dr.<sup>a</sup> Marina Teresa Torres Rodríguez  
Universidade Federal do Ceará (LABOMAR)

Às mulheres que com a sua oração, amizade, esforço e dedicação me ajudaram a obter esse título, em especial: Edna, Debora, Nazaré, Jéssica, Alinne, Larissa, Oscarina, Kamila, Gleire, Cris e Marina.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter colocado anjos na minha jornada que me auxiliaram até aqui.

À Edna Lima, Débora Lima e Nazaré Bentes que mesmo de longe me deram suporte emocional para realizar meu sonho de estudar na Universidade Federal do Ceará.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará pelo seu corpo docente e coordenação, em especial a Rogéria Setubal que sempre me atendeu com alegria e eficiência em todos os momentos.

Às minhas orientadoras, Prof. Dr.<sup>a</sup> Oscarina Viana e Prof. Dr.<sup>a</sup> Kamila Vieira que sempre me motivaram a ser dedicado em prol da minha formação. Grato por todo o tempo e conhecimento compartilhado comigo em sala de aula, orientações, laboratório e em campo.

Às minhas amigas de campo, Prof. Dr.<sup>a</sup> Gleire Menezes e Larissa Nunes que estiveram comigo durante as expedições para obtenção de dados. Grato pela parceria, tempo e conhecimento compartilhado.

Ao Prof. Dr. Guilherme Irffi e a Prof. Dr.<sup>a</sup> Marina Torres pelas suas contribuições.

À Engenheira de Pesca Jéssica Costa que foi a minha maior inspiração profissional durante o mestrado e que esteve comigo desde o início. Grato por me ensinar os seus conhecimentos em microbiologia, por confiar em mim e me auxiliar sempre que precisei.

Ao Cientista Ambiental Rubson Matos pela amizade e pelos primeiros conhecimentos em microbiologia que me repassou.

À Bacharel em Aquicultura Alinne Rodrigues e Caetano Holanda que também estiveram comigo durante o mestrado. Grato por todos os bons momentos que compartilhamos.

À Prof. Dr.<sup>a</sup> Cristiane Teles que foi a melhor professora que tive durante o mestrado. Grato por todo seu esforço, humildade, conhecimento e tempo dedicado a mim e a todos os integrantes do Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado.

Aos integrantes do Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado que mostraram que os melhores trabalhos são realizados em grupo, com dedicação e esforço diário.

À toda equipe de suporte do Departamento de Engenharia de Pesca do Pici e do Instituto de Ciências Marinhas pela sua dedicação diária.

Aos gerentes e empresários que conversei do setor de carcinicultura do Ceará e que contribuíram para a obtenção de dados, discussão e execução desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela oportunidade da bolsa de estudos.

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

## RESUMO

A exigência por pescado aumentou e a aquicultura se tornou imprescindível para atender essa demanda crescente por peixes, camarões e outros organismos aquáticos. O crescimento desordenado da atividade causou muitos impactos negativos ao meio ambiente e riscos à segurança alimentar. O cultivo de camarões no estado do Ceará tem tido problemas com produção abaixo da capacidade devido a desequilíbrios ambientais que provocam doenças aos camarões e prejudicam os empreendimentos. Como forma de minimizar esses problemas, os produtores vêm fazendo uso de bioflocos e/ou probióticos visando a melhoria do desempenho zootécnico e qualidade ambiental. Foi avaliado o quanto uso de bioflocos e/ou probióticos influenciam na melhoria da sustentabilidade e segurança alimentar desses empreendimentos. O estudo foi composto por três fazendas de camarão que faziam uso de probióticos, sendo uma na modalidade semi-intensiva, uma intensiva e uma superintensiva com uso de bioflocos. Elas foram avaliadas quanto ao perfil econômico e ambiental por meio de avaliação emergética e quanto à segurança alimentar dos camarões comercializados e da água por meio de avaliação de qualidade microbiológica. A aplicação de probióticos nos sistemas apresentou melhoria em todos os indicadores emergéticos analisados, principalmente na redução de estresse ambiental. O sistema superintensivo com uso de bioflocos foi mais sustentável que os outros sistemas, porém estava abaixo da sua capacidade produtiva. Os camarões comercializados por todas as fazendas tinham qualidade aceitável e água própria para o cultivo, estando de acordo com as legislações sanitárias e ambientais. O sistema semi-intensivo foi o que apresentou maior concentração de bactérias entéricas. E o sistema superintensivo com uso de bioflocos foi o único a apresentar *Vibrio parahaemolyticus*. As fazendas de camarão avaliadas precisam incorporar, além de probióticos e bioflocos, mais ações sustentáveis e sanitárias para se tornarem mais eficientes.

**Palavras-chave:** Avaliação Emergética. Microbiologia do Pescado. Biotecnologia.

## ABSTRACT

The requirement for fish increased and the aquaculture became essential to take care of this increasing demand for fish, shrimps and other organisms. The disordered growth of the activity caused many negative impacts to the environment and risks to the food safety. The farming of shrimps in the state of the Ceará has had problems with production below of the capacity due to environmental imbalances that cause shrimp diseases and harm companies. To minimize these problems, producers have used bioflocos and/or probiotics to improve zootechnical performance and environmental quality. It evaluated how the use of bioflocos and/or probiotics influences the improvement of sustainability and food safety of these enterprises. The study consisted of three shrimp farms that used probiotics, one in the semi-intensive, intensive and super intensive mode with the use of bioflocs. Emery used to evaluate the economic and environmental profile and microbiological quality evaluation to evaluate the food safety of commercialized shrimp and water used. The application of probióticos in the systems presented improvement in all the emery indexes analyzed, mainly in the reduction of environmental stress. The superintensive system with use of bioflocos was more sustainable than the other systems however it was below of its productive capacity. The shrimp marketed by all the farms had acceptable quality and safety water for the cultivation, being in agreement with the sanitary and environmental legislations. The semi-intensive system presented the highest concentration of enteric bacteria. Moreover, the superintensive system using bioflocs was the only one to present *Vibrio parahaemolyticus*. The evaluated shrimp farms need to incorporate, in addition to probiotics and bioflocos, more sustainable and sanitary actions to become more efficient.

**Keywords:** Emery Evaluation. Fish Microbiology. Biotechnology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção de camarões cultivados no Brasil .....	17
Figura 2 – Diagrama emergético de uma carcinicultura no Estado do Rio Grande do Norte .....	22
Figura 3 – Diagrama emergético do sistema semi-intensivo .....	37
Figura 4 – Diagrama emergético do sistema intensivo .....	40
Figura 5 – Diagrama emergético do sistema superintensivo com uso de bioflocos .....	42

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparativo dos índices energéticos dos sistemas de cultivo .....	45
Gráfico 2 – Quantificação de bactérias indicadoras da qualidade microbiológica dos camarões dos sistemas de cultivo .....	48
Gráfico 3 – Quantificação de bactérias indicadoras da qualidade microbiológica da água dos sistemas de cultivo .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização das fazendas de cultivo de camarão avaliadas .....	27
Tabela 2 – Avaliação emergética do sistema semi-intensivo .....	37
Tabela 3 – Índices emergéticos do sistema semi-intensivo .....	38
Tabela 4 – Avaliação emergética do sistema intensivo .....	40
Tabela 5 – Índices emergéticos do sistema intensivo .....	41
Tabela 6 – Avaliação emergética do sistema superintensivo com uso de bioflocos .....	42
Tabela 7 – Índices emergéticos do sistema superintensivo com uso de bioflocos .....	43
Tabela 8 – Avaliação microbiológica de amostras de camarão do sistema semi-intensivo .....	44
Tabela 9 – Avaliação microbiológica de amostras de água do sistema semi-intensivo ..	45
Tabela 10 – Avaliação microbiológica de amostras de camarão e água do sistema intensivo .....	45
Tabela 11 – Avaliação microbiológica de amostras de camarão do sistema superintensivo com uso de bioflocos .....	46
Tabela 12 – Avaliação microbiológica de amostras de água do sistema superintensivo com uso de bioflocos .....	46

## LISTA DE SÍMBOLOS

kg	Quilograma
ha	Hectare
L	Litro
ml	Mililitros
m	Metro
kg	Quilograma
mm	Milímetro
nm	Nanômetro
J	Joule
kJ	Quilo Joule
Sej	Unidade emergética
Kcal	Quilocaloria
sp.	Subespécie
°C	Graus Celsius
NaCl	Cloreto de Sódio
N	Nitrogênio
F	Fósforo
E	Notação científica com base 10
Ton	Tonelada
UV	Ultravioleta
S	Segundos
US\$	Dólar americano
R\$	Real brasileiro
%	Por cento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Carcinicultura</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Probióticos</b> .....	18
<b>2.1</b>	<b>Bioflocos</b> .....	19
<b>2.1</b>	<b>Sustentabilidade</b> .....	20
<b>2.1</b>	<b>Segurança alimentar</b> .....	24
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	28
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	28
<b>3.2</b>	<b>Avaliação emergética</b> .....	28
<b>3.3</b>	<b>Avaliação microbiológica</b> .....	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	37
<b>4.1</b>	<b>Avaliação emergética</b> .....	37
<b>4.2</b>	<b>Avaliação microbiológica</b> .....	45
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	49
<b>5.1</b>	<b>Avaliação emergética</b> .....	49
<b>5.2</b>	<b>Avaliação microbiológica</b> .....	51
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	54
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	55
	<b>APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO</b> .....	66
	<b>APÊNDICE B – MEMÓRIA DE CÁLCULO</b> .....	70
	<b>APÊNDICE C – FLUXOGRAMAS MICROBIOLÓGICOS</b> .....	82

## 1 INTRODUÇÃO

A aquicultura se desenvolveu com a necessidade de aliviar os estoques pesqueiros explorados pela pesca extrativista e atender a demanda crescente por pescado, sendo que parte desse desenvolvimento foi proporcionado pela carcinicultura (FAO, 2016). No Brasil, o consumo de pescado saltou de 7,66 kg/hab.ano<sup>-1</sup> em 1996 para 14,4 kg/hab.ano<sup>-1</sup> em 2015 (MPA, 2011; BRASIL, 2017). Esse dado ressalta o quanto a pressão por produção alavancou e o quanto é necessário desenvolver para atender as novas demandas.

O crescimento acelerado da carcinicultura ocasionou externalidades negativas como perdas de áreas de mangue, salinização dos corpos hídricos e do solo, poluição, uso desordenado de agentes químicos, surgimento de bactérias multirresistentes a antibióticos, doenças, perda de biodiversidade e ecossistemas locais. Consequentemente os custos ambientais aumentaram, sendo imprescindível um perfil sustentável para atividade (REBOUÇAS *et al.*, 2011; ISLAM; BHUIYAN, 2016).

A carcinicultura é um sistema de cultivo de camarões em cativeiro dividido em quatro etapas: larvicultura, berçário, engorda e despesca. Sendo o nordeste brasileiro pioneiro no desenvolvimento convencional da atividade com registros a partir da década de 1970 (CRAB *et al.*, 2012; RIBEIRO *et al.*, 2014).

No Ceará, a carcinicultura é realizada principalmente na região litorânea devido às características da água, solo e clima que os estuários proporcionam para o desenvolvimento produtivo. No entanto, com a perda de capacidade produtiva o Estado reduziu 21,4% da produção de camarão marinho em relação a 2016, mesmo com 75% dos produtores fazendo uso de probióticos (QUEIROZ *et al.*, 2013; ABCC, 2017; IBGE, 2017).

Novas tecnologias e produtos biotecnológicos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de enquadrar a aquicultura dentro de uma perspectiva sustentável. A tecnologia de bioflocos (*Bio-Floc Technology*) e uso de microrganismos probióticos são apresentados como alternativas para reduzir os custos com rações, melhorar a qualidade da água do cultivo, reduzir a vulnerabilidade dos animais cultivados a doenças e a mortalidade, além de promover crescimento acelerado (AKINSEMOLU, 2018).

A sustentabilidade é conceituada por muitos autores como a união de várias ciências e quando aplicada para o desenvolvimento de uma atividade produtiva busca equilíbrio ambiental, econômico e social a fim de preservar o meio ambiente sem inutilizá-lo para gerações futuras e garantir produtos em quantidade e qualidade suficiente para atender as necessidades atuais (BALACEANU; APOSTOL, 2014).

O nível de sustentabilidade em um sistema produtivo pode ser medido através de indicadores que reduzem a complexidade de entendimento do sistema e são poderosas ferramentas para tomada de decisões, pois apresentam mensurabilidade, relevância política, eficiência analítica e agregação de fatores (KIMPARA; ZADJBAND; VALENTI, 2012).

Dentre esses, destaca-se o método de avaliação por emergia, elaborado por Odum (1996) que propõe uma análise entre a energia natural e econômica com a produção alcançada no sistema avaliado. Este indicador é capaz de aferir o nível de sustentabilidade do sistema produtivo através de cálculos matemáticos dos componentes ambientais e econômicos de forma ampla, porém sem agregar fatores sociais ou de qualidade dos produtos produzidos.

Os fatores sociais e de qualidade podem ser identificados e avaliados por meio de indicadores de qualidade ambiental e segurança alimentar. Sendo fundamental o conhecimento do efeito dessas novas tecnologias sobre a qualidade e segurança microbiológica do pescado e da água (MATOS *et al.*, 2016).

Nessa abordagem, ao avaliarmos a aplicação de biotecnologias em prol da sustentabilidade nos sistemas agrícolas é possível auxiliar a tomada de decisões no campo gerando renda, preservando o meio ambiente, produzindo produtos seguros e fortalecendo políticas públicas que sustentem a atividade (FERREIRA *et al.*, 2012).

E ao associarmos a responsabilidade social aquícola de produzir pescado com qualidade microbiológica aceitável com as suas práticas econômicas e ambientais é possível avaliar o efeito da introdução de biotecnologias de cultivo sobre a sustentabilidade e o desenvolvimento da atividade (GRIGORAKIS; RIGOS, 2011).

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar comparativamente, por meio de indicadores ambientais de emergia e microbiológicos, a influência da aplicação de bioflocos e probióticos na melhoria da sustentabilidade e segurança alimentar de sistemas produtivos de camarões que utilizavam essas biotecnologias.

Os objetivos específicos foram: Avaliar a influência dos probióticos nos indicadores de sustentabilidade em três fazendas de camarão com sistema semi-intensivo, intensivo e superintensivo; Avaliar a influência dos bioflocos nos indicadores de sustentabilidade em relação ao cultivo convencional de camarão em sistema semi-intensivo e intensivo; Avaliar a qualidade microbiológica dos camarões comercializados por três fazendas de camarão com sistema semi-intensivo, intensivo e superintensivo através de contagem padrão em placas de bactérias heterotróficas mesófilas, *Vibrio*, *V. parahaemolyticus*, número mais provável de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* e presença de *Salmonella*; Avaliar a qualidade microbiológica da água utilizada por três fazendas de camarão com sistema semi-

intensivo, intenso e superintensivo através de contagem padrão em placas de *Vibrio*, *V. parahaemolyticus* e número mais provável de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Carcinicultura

A carcinicultura no Brasil teve início registrado no nordeste do país, em meados de 1970 com a importação de tecnologias e espécies do gênero *Penaeus* que se adaptaram muito bem devido às condições climáticas, hidrológicas e topográficas do país (RIBEIRO *et al.*, 2014). Sendo *Litopenaeus vannamei*, a espécie mais cultivada, conhecida como camarão branco, originária do pacífico, distribuída do golfo da Califórnia/USA ao norte do Peru e com bom desempenho zootécnico em ambientes confinados (GESTEIRA; PAIVA, 2003).

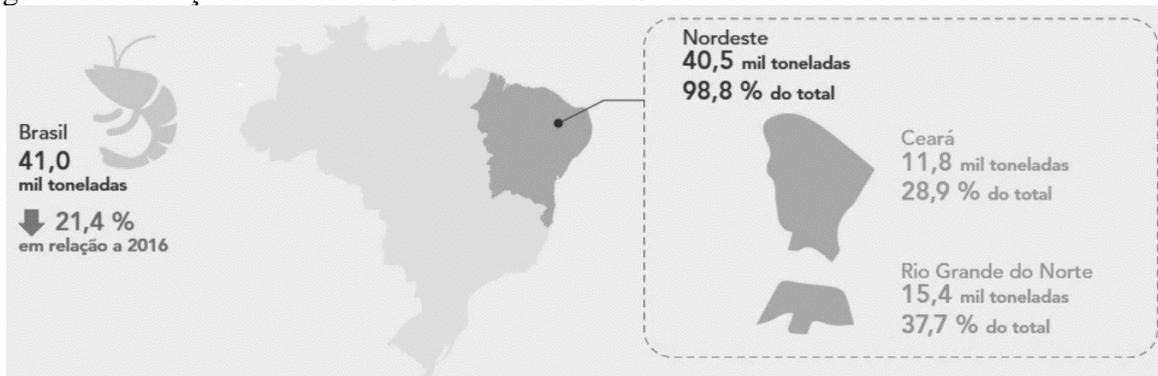
O cultivo convencional de camarões é caracterizado por utilizar viveiros escavados, necessitar de constantes trocas de água sem tratamento, utilizar grandes áreas para produção e ser de baixo grau de biossegurança que facilita a transmissão de patógenos (SILVA *et al.*, 2016).

A maior problemática ambiental do sistema convencional é a grande quantidade de compostos nitrogenados que acabam sendo depositados em corpos hídricos sem a devida biossegurança. Isso afeta a qualidade da água, gera problemáticas na saúde pública e aumenta os impactos ambientais causados pelos empreendimentos (FRÓES *et al.*, 2012).

A atividade pode ser classificada de acordo com densidade de estocagem em extensiva, semi-intensiva, intensiva e superintensiva. Na modalidade extensiva pode se alcançar a produtividade de 500 kg/ha/ano com até 2,5 camarões por m<sup>2</sup>, na semi-intensiva, 5.000 kg/ha/ano com até 30 camarões por m<sup>2</sup>, na intensiva, até 20 ton/ha/ano com mais de 30 camarões por m<sup>2</sup> e na superintensiva, produtividade superior a 20 ton/ha/ano com densidades superiores a 300 camarões por m<sup>2</sup> (TACON *et al.*, 2002; KRUMMENAUER *et al.*, 2011).

O nordeste brasileiro ainda recebe destaque por sua representatividade de 98,8% na produção nacional (Figura 1). O Ceará detém 700 carcinicultores ativos, desenvolvendo atividade produtiva em 10.407 ha de lâmina d'água e até 2016 era o maior produtor nacional. (ABCC, 2017; IBGE, 2017).

Figura 1 - Produção de camarões cultivados no Brasil.



Fonte: IBGE, 2017.

O sucesso comercial de uma carcinicultura é influenciado pelo desempenho zootécnico das pós-larvas cultivadas, da qualidade da ração utilizada, das condições topográficas do solo, do manejo aplicado, da escolha do início do ciclo produtivo de acordo com o clima e da administração do capital (MARINHO JUNIOR; FONTELES FILHO, 2010).

Assim como em outras atividades produtivas, a carcinicultura pode gerar impactos negativos que ocorrem em efeito cascata, limitam o crescimento da atividade, geram conflitos e se não mitigados causam efeitos irreversíveis (PÁEZ-OSUNA, 2001; FREITAS *et al.*, 2008).

Os impactos sociais causados pela carcinicultura afetam diretamente a saúde pública e estão relacionados com a falta de biossegurança nos sistemas de cultivo e a qualidade dos produtos produzidos ao expor os usuários dos recursos hídricos e aos consumidores de pescado a uma série de bactérias patogênicas (HOLMSTRÖM *et al.*, 2003; FIGUEIRÊDO *et al.*, 2006; REBOUÇAS *et al.*, 2011; FIGUEREDO *et al.*, 2015; MATOS *et al.*, 2016).

Os impactos ambientais afetam diretamente a qualidade do ar, solo e água e estão relacionados ao manejo, localização do empreendimento, tecnologias utilizadas, escala de produção, hidrodinâmica e capacidade de suporte dos corpos hídricos (RIBEIRO *et al.*, 2014).

Os problemas econômicos enfrentados pela atividade normalmente estão relacionados a problemas ambientais, como perda de serviços ecossistêmicos essenciais para atividade e doenças. Esses problemas ocasionam perda de produtividade, redução de renda e inadimplência com fornecedores e instituições bancárias (ARAÚJO; OKINO, 2009; QUEIROZ *et al.*, 2013).

## 2.2 Probióticos

O termo probiótico foi utilizado pela primeira vez por Lilly e Stillwell (1965), deriva do grego, significa “pró vida” e designa a capacidade de um ou mais microrganismos persistirem no intestino do hospedeiro e beneficiá-lo.

A aplicação de probióticos na carcinicultura independe da densidade de estocagem, pois os mesmos têm o objetivo de promover vantagem competitiva aos camarões frente a doenças e acelerar o crescimento do animal, sendo as bactérias ácido lácticas as mais utilizadas com esse objetivo (RAMÍREZ *et al.*, 2013).

Bactérias do gênero *Vibrio* já foram amplamente utilizadas no cultivo de camarões marinhos por conta da grande maioria ser inofensiva e benéfica aos animais. Porém devido a desequilíbrios ambientais que favorecem o surgimento de linhagens patogênicas, o uso do *Vibrio* como probiótico não é recomendado e a sua inibição se tornou a ser alvo de estudos.

Atualmente, os gêneros *Bacillus* e *Lactobacillus* têm sido amplamente utilizados como probiótico no cultivo de camarões marinhos pois estudos apontam a sua eficiência em promover desempenho zootécnico (HERNANDEZ *et al.*, 2010; VIEIRA *et al.*, 2016; WANG *et al.*, 2019), inibir *Vibrio* sp. em ambiente de cultivo (MORIARTY, 1998), melhorar a digestibilidade (MUJEEB RAHIMAN *et al.*, 2010), a qualidade da água (WANG; LI; LIN, 2008) e a tolerância ao estresse (CASTEX *et al.*, 2009).

Hernandez *et al.* (2010) e Vieira *et al.* (2016) avaliaram os benefícios da suplementação de *Lactobacillus* na dieta de camarão marinho em cultivo comercial e observaram que a bactéria favoreceu o desempenho zootécnico, o crescimento de bactérias ácido láctico no intestino dos camarões e inibiu o crescimento de *Vibrio*.

Wang *et al.* (2019) avaliaram o potencial associado e dissociado de estirpes de *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus pentosus*, *Lactobacillus fermentum* e *Saccharomyces cerevisiae* no cultivo de camarão marinho e destacaram que a utilização do consórcio entre as quatro bactérias foi significativamente mais benéfica à saúde e ao desempenho zootécnico dos camarões do que a utilização dissociada.

Os estudos tecnológicos de aprimoramento desses produtos visam melhorias na ativação dessas bactérias que são comercializadas na forma líquida ou liofilizadas e na eficiência do seu deslocamento até o trato intestinal dos animais aquáticos a serem beneficiados (MARTÍNEZ CRUZ *et al.*, 2012). Esses estudos reforçam a importância dessas tecnologias em reduzir o tempo de cultivo, minimizar a aplicação de capital em tratamento de doenças e

melhorar a qualidade da água afim de incrementar sustentabilidade ao sistema produtivo (NINAWÉ; SELVIN, 2009).

### 2.3 Bioflocos

O sistema de bioflocos foi desenvolvido a partir da necessidade de garantir sustentabilidade produtiva na carcinicultura, além de aumentar a produtividade, reduzir as áreas produtivas, as trocas de água e os custos com tratamento de água em relação ao cultivo convencional, porém, apesar dos benefícios, o sistema é mais caro e exige mão de obra mais qualificada para a manutenção (CRAB *et al.*, 2012).

A base do sistema é um agregado de microalgas, bactérias, zooplânctons, ciliados e flagelados em que as bactérias heterotróficas são responsáveis pela agregação e ciclagem dos compostos nitrogenados da água. Esse aglomerado sofre influência da razão entre o carbono e o nitrogênio no sistema, sendo útil na melhoria da qualidade da água, na redução dos riscos de transmissão de doenças e como fonte de proteína aos animais cultivados (KRUMMENAUER *et al.*, 2011; 2012).

As bactérias presentes no sistema de cultivo de bioflocos também possuem grande potencial probiótico. Ferreira *et al.* (2017) avaliaram esse potencial combinado com probióticos comerciais e concluíram que as bactérias presentes no bioflocos foram suficientes para garantir biorremediação e biocontrole ao cultivo superintensivo de camarões marinhos.

Ferreira *et al.* (2015) isolaram estirpes de *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus licheniformis*, e *Bacillus cereus* a partir de cultivos superintensivo de camarão marinho com uso da tecnologia de bioflocos e observaram que os isolados foram essenciais na manutenção da qualidade da água, saúde e desempenho zootécnico dos camarões.

A adaptação dessas bactérias heterotróficas utilizadas no sistema é essencial para que haja estabilidade durante o cultivo, pois o descontrole da quantidade de sólidos suspensos na água pode pôr em risco a sobrevivência dos peixes ou camarões que estão sendo confinados (HARGREAVES, 2013).

Devido ao sistema de cultivo com bioflocos ser realizado em altas densidades de estocagem, em ambientes mais controlados e com aeração constante, a produtividade do sistema é superior ao cultivo convencional em modalidade intensiva e com menor uso de água (BROWDY *et al.*, 2012).

Rego *et al.* (2017a) avaliaram a viabilidade financeira de um sistema de bioflocos para cultivo de camarão, em Pernambuco, por meio de indicadores econômicos de valor

presente líquido, taxa interna de retorno e tempo de retorno do investimento e observaram que apesar dos altos custos em relação ao sistema convencional, a implementação é viável a longo prazo.

## 2.4 Sustentabilidade

A sustentabilidade tem recebido destaque nos últimos anos devido ao aumento das externalidades negativas e consequentes custos ambientais que prejudicam o andamento das atividades produtivas. Como forma de minimizar os efeitos negativos de atividades mal planejadas e políticas públicas mal implementadas, o conceito de equilíbrio entre as ações econômicas, sociais e ambientais têm se fortalecido (BALACEANU; APOSTOL, 2014).

A Organização das Nações Unidas elaborou um plano com 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável das atividades humanas. Dentre os objetivos listados, a produção de pescado tem papel fundamental na erradicação da fome com oferta de alimento acessível e de qualidade, redução da extrema pobreza, desigualdades sociais e proteção do meio ambiente para as gerações futuras (BLANCHARD *et al.*, 2017).

Nesse contexto, o equilíbrio das demandas humanas por alimento e suas interações com os recursos hídricos são fundamentais para o sucesso da aquicultura pois permite que os recursos naturais se perpetuem garantindo eficiência em produtividade, sustentabilidade e governança (LEBEL; CHUAH, 2018). Sendo fundamental que essas interações humanas sejam alvo de estudo de engenharia ecológica por conta da geração de resíduos sólidos, produtos químicos e patógenos (DAUDA *et al.*, 2018).

A engenharia ecológica é uma ciência que se desenvolveu a partir de 1990 com o objetivo de avaliar as interações humanas com o meio ambiente e buscar o equilíbrio entre ambos através de projetos sustentáveis (ORTEGA, 2003). A complexidade dessa engenharia se dá em garantir o desenvolvimento das atividades produtivas com recuperação de áreas, redução de poluição, redução do uso de recursos não renováveis, tratamento e reuso de águas residuais e geração de benefícios econômicos (MITSCH, 2012).

Na aquicultura a busca por sustentabilidade vem sendo aplicada em projetos com recirculação de água, redução de áreas produtivas, aumento de produtividade, tratamento de efluentes, aumento de produção primária na fase inicial do cultivo e redução de impactos ambientais por amônia, nitrato e fósforo (LIU *et al.*, 2014).

A partir da necessidade de projetar, construir e administrar sistemas produtivos mais sustentáveis foram criados indicadores capazes de mensurar os componentes da

sustentabilidade produtiva e nortear o impacto das ações mitigadoras no andamento das atividades (KIMPARA; ZADJBAND; VALENTI, 2012).

Os indicadores de sustentabilidade são norteadores de decisão por apresentarem: mensurabilidade calculada ou observada a partir de dados disponíveis no sistema; padronização metodológica; viabilidade técnica; e aceitabilidade política (VAN BELLEN, 2005).

Através dos indicadores de sustentabilidade é possível avaliar a influência de tecnologias, políticas públicas e modificações no manejo produtivo devido sua capacidade de mensurar força, fraqueza e efetividade do sistema. De acordo com Valenti *et al.* (2018) mais de 56 indicadores matemáticos já foram propostos para avaliação da sustentabilidade de sistemas aquícolas no Brasil, abrangendo questões ambientais, econômicas e sociais.

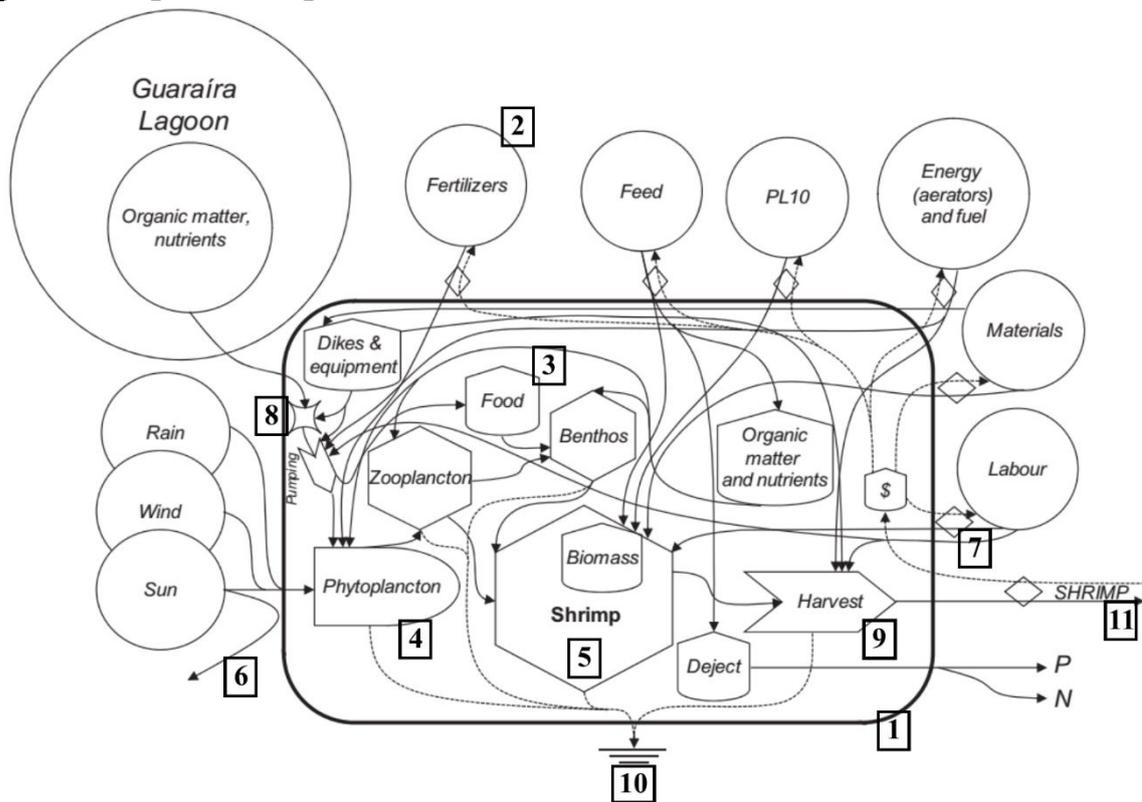
#### **2.4.1 Emergia**

Esse indicador de sustentabilidade foi desenvolvido por Howard Odum com o objetivo de entender os fluxos energéticos empregados pelo homem com aplicação de capital (F) em materiais (M) e serviços (S), pela natureza (I) através de recursos naturais renováveis (R) e não renováveis (N) e pelo retorno dessas aplicações em produtividade (Ep) (ODUM, 1996)

A emergia permite a simplificação de um sistema produtivo complexo em um diagrama mensurável que possibilita a visualização das interações econômicas e ambientais. Cada símbolo do diagrama emergético está atrelado a um objetivo da contribuição dentro dos limites de um sistema produtivo (1).

As fontes de energia (2) podem ser da natureza ou da economia e servirem para abastecer depósitos de energia (3), coletores-produtores (4) e consumidores (5) por meio de fluxos energéticos (6) que possibilitam transações financeiras (7), interrupção do sistema (8), interação entre fluxos (9), dissipação de energia (10) e produção (11). O resultado dessas interações no sistema produtivo são expressões em sej/ha.ano baseado na conversão de todos os fluxos de entrada e saída para energia, tendo a irradiação solar como transformidade padrão (Figura 2) (ORTEGA, 2003).

Figura 2 - Diagrama energético de uma carcinicultura no Estado do Rio Grande do Norte.



Fonte: LIMA; RIVERA; FOCKEN, 2012.

Legenda: 1 - Sistema de produção; 2 - Fonte de energia; 3 - Depósito de energia; 4 - Coletor e produtor de energia; 5 - Consumidor de energia; 6 - Fluxo energético; 7 - Transação financeira; 8 - Interruptor do sistema; 9 - Interação de fluxos de energia; 10 - sumidouro de energia; 11 - Produção.

A partir da padronização dos fluxos energéticos na mesma unidade é possível calcular transformidade ( $Tr$ , *Transformity*) que indica a qualidade do fluxo energético; renovabilidade ( $\%Re$ , *Renewability*) que indica o grau de sustentabilidade em porcentagem; razão de investimento energético (EIR, *Emergy Investment Ratio*) que indica sensibilidade financeira a oscilações econômicas; razão de rendimento energético (EYR, *Emergy Yield Ratio*) que indica a eficiência da conversão de energia aplicada em relação à produção atingida; razão de carga ambiental (ELR, *Environmental Loading Ratio*) que indica o quão estressante é o sistema produtivo ao meio ambiente e índice de sustentabilidade (ESI, *Emergy Sustainability Index*) que caracteriza o quão sustentável é o sistema de cultivo (COMAR; ORTEGA, 2003)

Na aquicultura, o estudo com a utilização dessa metodologia tem registros desde 1991 em que Odum e Ardning avaliaram o perfil de sustentabilidade da carcinicultura marinha no Equador e concluíram que a atividade apresentava sinais de insustentabilidade devido a dependência da pesca de pós larvas para atender as necessidades do sistema de cultivo e que a criação de tecnologias e de medidas políticas deviam ser realizadas devido à grande importância econômica da atividade.

No Brasil, Lima, Rivera e Focken (2012) compararam o sistema semi-intensivo e o orgânico de cultivo de *Litopenaeus vannamei* e constataram que o semi-intensivo é mais impactante ao meio ambiente, menos sustentável e menos lucrativo que o orgânico.

No Quadro 1 estão listados outros trabalhos que foram desenvolvidos utilizando indicadores emergéticos para comparações entre sistemas produtivos aquícolas, espécies e produções agrícolas utilizando EYR, ELR e ESI.

Quadro 1 - Metodologia emergética aplicado a estudos aquícolas.

Sistema de cultivo	EYR	ELR	ESI	Local	Referência
Camarão	1,3	3,43	0,37	Equador	Odum e Arding, 1991
Tilápia	1,02	46,52	0,02	México	Brown <i>et al.</i> , 1992
Salmão	1,23	4,24	0,29	EUA	Odum, 2001
Dourada	3,95	0,34	11,62	Itália	Bastianoni, 2002
Integração Peixe/Porco/Grãos	1,44	3,13	0,46	Brasil	Cavalett, Queiroz e Ortega, 2006
Dourada	1,2	5	0,24	Itália	Vassallo <i>et al.</i> , 2007
Moreia	1,04	23,42	0,04	China	Li <i>et al.</i> , 2011
Gobião	1,05	20,17	0,05		
Peixe aranha	1,03	26,14	0,04		
Carpa em tanque rede	1,76	0,38	4,61		Zhang <i>et al.</i> , 2011
Carpa em sistema intensivo	1,04	2,73	0,38		
Carpa em sistema extensivo	2,19	0,55	3,98		
Camarão em sistema semi-intensivo	2,13	58,58	0,03	Brasil	Lima, Rivera e Focken, 2012
Camarão em sistema orgânico	4,31	51,64	0,08		
Salmão	1,07	8,38	0,13	França	Wilfart <i>et al.</i> , 2013
Policultivo peixes em sistema extensivo	1,2	2,94	0,4		
Policultivo peixes em sistema semi-intensivo	1,16	7,48	0,15		
Salmão	1,23	4,56	0,27		
Integração Peixe/Porco/Biogás	1,06	0,9	1,17	China	Wu <i>et al.</i> , 2014
Tilápia	1,01	90,51	0,01	Brasil	Garcia <i>et al.</i> , 2014
Pepino do mar em sistema fechado	1,18	5,5	0,21	China	Wang <i>et al.</i> , 2015
Pepino do mar em sistema extensivo	1,90	1,12	1,7		

Pepino do mar em sistema intensivo	2,06	0,94	2,18		
Ostras em bandejas	1,4	2,5	0,56	EUA	Williamson, Tilley e Campbell, 2015
Ostras em gaiolas	1,31	3,2	0,4		
Carpa	3,56	0,39	9,10	China	Cheng <i>et al.</i> , 2017

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 2.5 Segurança alimentar

Em estudos de sustentabilidade aquícola, a microbiologia é capaz de auxiliar na tomada de decisões sobre a qualidade dos produtos produzidos em diferentes sistemas de cultivo (BRITO *et al.*, 2016), indicar se a produção dos mesmos põe em risco o meio ambiente ou a saúde pública (REBOUÇAS *et al.*, 2011) e ainda ser parte essencial dos sistemas de cultivo, contribuindo com biotecnologias, como os probióticos e os bioflocos (BOSSIER *et al.*, 2016; BOSSIER; EKASARI, 2017).

Muitas entidades se destacam na criação de legislações, metodologias e publicações em todo o mundo para garantir segurança alimentar aos consumidores. Dentre elas estão a brasileira ANVISA-MS (Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Ministério da Saúde), a estadunidense FDA (Administração de Drogas e Alimentos), a europeia DG *Healthy and Food Safety* (Direção Geral de Saúde e Segurança Alimentar – União Europeia) e a mundial *Codex Alimentarius* – FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) (BLAHA *et al.*, 2011).

De acordo com essas instituições, as bactérias *Vibrio parahaemolyticus*, coliformes termotolerantes e *Salmonella* são indicadores de segurança alimentar. E fazem parte de grupos bacterianos que podem ser transferidos da água do sistema de cultivo para o pescado cultivado devido serem bactérias presentes naturalmente no meio ambiente ou comum em ambientes contaminados (PEREIRA *et al.*, 2006).

O gênero *Vibrio* é um grupo de microrganismos muito importante na carcinicultura, pois está associado a doenças em humanos e em camarões durante todas as etapas do cultivo, além de apresentarem resistência a alguns antibióticos (VIEIRA *et al.*, 2000; COSTA *et al.*, 2010; MURATORI *et al.*, 2014, CHOI *et al.*, 2017; REBOUÇAS *et al.*, 2017).

As bactérias que o compõem são halofílicas, comuns em ambientes estuarinos e marinhos, são bastonetes curtos, levemente curvados, Gram-negativas, normalmente oportunistas, móveis com flagelo polar e algumas estirpes podem causar vibriose em camarões ou gastroenterite em seres humanos (MORIARTY, 1998; JONES, 2017).

Raszl *et al.* (2016) ao realizarem revisão bibliográfica sobre quantificação, isolamento e surtos causados por *Vibrio* na América do Sul destacaram que o Ceará foi o primeiro local a relatar um surto por *Vibrio parahaemolyticus*, no ano de 1974. E que desde 1971 estudos relatam a presença e o risco de surtos alimentares por *Vibrio parahaemolyticus* e *Vibrio vulnificus* em peixes, moluscos e crustáceos.

Costa *et al.* (2009) avaliaram a prevalência de *Vibrio* em diversas etapas de cultivo de camarão marinho no Ceará e concluíram que os animais ficam mais susceptíveis a vibrioses nos últimos dias de cultivo devido o acréscimo de matéria orgânica que proporciona multiplicação de bactérias potencialmente patogênicas ao camarão. Mendes *et al.* (2009) também chegaram a mesma conclusão ao avaliar a prevalência de *Vibrio* em fazendas em Pernambuco.

Ao avaliar *Vibrio* isolado em corpos hídricos que recebiam os afluentes de fazendas, Costa *et al.* (2010) concluíram que o pH foi uma variável ambiental mais importante na abundância dos mesmos e que a distribuição das espécies era influenciada pelo período do ano. Ainda segundo os autores, *Vibrio parahaemolyticus* que é um microrganismo indicador de segurança alimentar em produtos à base de pescado prontos para consumo, foi encontrado em 16,12% das amostras de água analisadas.

Além de ser patógeno aos seres humanos, *Vibrio parahaemolyticus* pode ser letal aos camarões causando síndrome da mortalidade precoce. Choi *et al.* (2017) chegaram a essa conclusão ao submeter camarões marinhos cultivados nos Estados Unidos à alimentação comercial com diferentes concentrações dessa bactéria, a qual a concentração  $10^8$  UFC/g matou 100% dos camarões em 31 horas após a exposição.

Rebouças *et al.* (2011) e Costa *et al.* (2015) avaliaram respectivamente o perfil de resistência de *Vibrio* isolado a partir de ambientes de carcinicultura e *Litopenaeus vannamei* no Ceará e concluíram que o uso inadequado de antibióticos promove a prevalência de bactérias multirresistentes e causa um problema de saúde pública pela possibilidade da transferência dessa resistência aos consumidores da água e do camarão contaminado.

Ao relatarem o cenário atual da carcinicultura no Ceará com as perdas econômicas por *Vibrio*, Rebouças *et al.* (2017) destacaram que o estresse ambiental causado pelo sistema de cultivo é capaz de favorecer a multiplicação de patógenos oportunistas do gênero, a qual se evidencia *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio harveyi*, *Vibrio parahaemolyticus* e *Vibrio nigripulchritudo*.

Outro grupo de bactérias que também possui grande relevância é a família Enterobacteriaceae pois está presente em diversos ambientes e algumas bactérias dessa família

são patógenas aos seres humanos, com destaque para a *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Salmonella* (FENG *et al.*, 2002; JENKINS *et al.*, 2017).

Os gêneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* e *Klebsiella* são bastonetes Gram-negativos, anaeróbicos facultativos, fermentam lactose, produzem ácido e gás e forma o grupo dos coliformes termotolerantes a 45°C. A espécie *Escherichia coli* recebe maior destaque no grupo por ser um patógeno oportunista e está associado ao trato intestinal de vertebrados de sangue quente (CONWAY, 1995; SMITH; FRATAMICO, 2017).

*Salmonella* é uma bactéria Gram-negativa associada ao trato intestinal de vertebrados de sangue quente que possui parede celular em forma de bastonete curto com flagelos peritríquios com capacidade de produção de ácido e gás, além de fermentar ducitol, trealose, xilose, manose, ramnose, manitol, maltose e arabinose. Podendo ser encontrada em todo o mundo e sendo os alimentos o principal veículo de transmissão, principalmente os de origem animal e devido a sua elevada patogenicidade, ela deve estar ausente em amostras de 25 g de pescado. A mesma apresenta crescimento excelente em pH = 7 e temperatura entre 35-43°C, porém não é resistente a temperaturas superiores a 70°C (SHINOHARA *et al.*, 2008; BRASIL, 2011; GRAZIANI *et al.*, 2017).

Koonse *et al.* (2005) avaliaram a prevalência de coliformes termotolerantes, *Escherichia coli* e *Salmonella* em 1234 amostras de camarão e água de 103 fazendas de camarão nos Estados Unidos e chegaram à conclusão que a qualidade da água e as condições sanitárias do cultivo implicam na prevalência dessas bactérias no pescado cultivado e que houve relação significativa entre a concentração de coliformes termotolerantes e a presença de *Salmonella* na amostra analisada.

Parente *et al.* (2011) quantificaram e isolaram bactérias da família Enterobacteriaceae em amostras de água e camarão em fazendas no Ceará e não encontraram nenhuma amostra de água acima do limite preconizado por legislação, porém detectaram a presença de *Salmonella* em uma das amostras de camarão (3,57%). Destacando a preocupação pela contaminação de bactérias entéricas já no início da cadeia produtiva.

Fialho *et al.* (2014) avaliaram a ocorrência de bactérias entéricas em amostras de água, camarão e ração em fazendas no Piauí durante todos os estágios de cultivo e destacaram que a água era uma grande fonte de contaminação para os camarões.

Lekshmy *et al.* (2014) avaliaram a incidência de *Escherichia coli* em duas fazendas de camarão com sistemas de cultivo extensivo em diferentes densidades de estocagem no Estado de Kerela, na Índia, e constataram que as características do sistema de cultivo são

capazes de influenciar na qualidade microbiológica do pescado cultivado, mesmo não havendo diferença significativa entre os sistemas de cultivo.

Faridullah, Roy e Lith (2016) avaliaram a prevalência de *Escherichia coli* e *Salmonella* em amostras de água, algas, camarão e caixas transportadoras em fazendas de 6 estados de Bangladesh e nas plantas processadoras de destino. Os autores encontraram o mesmo percentual de amostras positivas para essas bactérias no sistema de cultivo e nas plantas processadoras, demonstrando a importância da qualidade microbiológica do pescado desde o início da cadeia produtiva.

Neste contexto, o monitoramento microbiológico dos ambientes de carcinicultura e seus produtos são essenciais para o andamento da atividade, qualidade ambiental e segurança alimentar (HAMILTON *et al.*, 2018). Assim como a avaliação por meio indicadores de sustentabilidade é fundamental para a governança das questões econômicas, ambientais e sociais que envolvem a atividade (TAYLOR; KLUGER, 2018).

Devido à complexidade das interações econômicas, ambientais e sociais para produção de alimento, os indicadores são fundamentais para aferir os resultados alcançados e planejar o futuro dos empreendimentos. A união de indicadores de sustentabilidade e segurança alimentar reduz a limitação metodológica desses indicadores dissociados. Pois normalmente os de sustentabilidade avaliam muito bem questões ambientais e econômicas enquanto os de segurança alimentar avaliam melhor as questões sociais (BERRY *et al.*, 2015).

A associação da sustentabilidade e segurança alimentar promove benefícios na ampliação da qualidade dos alimentos ofertados, principalmente para regiões mais pobres, na redução de externalidades negativas e na ampliação de programas de certificação sustentável que atualmente está voltada apenas para pescados com alto valor (GODFRAY *et al.*, 2010).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo foi composta por três fazendas de cultivo de camarão localizadas nos municípios de Beberibe, Caucaia e Paraipaba no Estado do Ceará e que desenvolviam suas atividades em diferentes modalidades produtivas e níveis tecnológicos (Tabela 1). Em todas as fazendas foram aplicados questionários semiestruturados validados (Apêndice A) e coletado camarão e água de acordo com as características do sistema de cultivo para avaliação emergética e microbiológica.

Tabela 1 - Caracterização das fazendas de cultivo de camarão avaliadas.

Fazenda	F1	F2	F3
Localização	Beberibe	Caucaia	Paraipaba
Área total (ha)	709	611	2,7
Área produtiva (ha)	385	1,9	0,294
Número de viveiros	56	19	3
Ano de implantação	2000	2005	2017
Gramatura de comercialização (g)	> 10	> 10	> 10
Ração (kg/ha/ano)	6.600	12.631	130.612
Ciclo produtivo (dias)	75	90-100	90-100
Aplicação de probióticos	Sim	Sim	Sim
Sistema produtivo	Semi-intensivo	Intensivo	Superintensivo
Modalidade de cultivo	Convencional	Convencional	Bioflocos
Densidade de estocagem	10/m <sup>2</sup>	56/m <sup>2</sup>	400/ m <sup>2</sup>
Taxa de sobrevivência	69%	75%	80%
Produtividade (kg/ha/ano)	3.116,9	12.631,6	108.843,5
Taxa de uso de água (L/kg)	4.812	2.850	117,2

Fonte: Dados de pesquisa.

#### 3.2 Avaliação emergética

A sustentabilidade do sistema produtivo foi avaliada por meio de indicadores de energia que foram calculados a partir da interação entre a energia natural e econômica que estavam sendo aplicadas nos cultivos de camarão e o seu resultado produtivo. Essas avaliações foram feitas no Laboratório de Economia, Direito e Sustentabilidade, localizado no Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará. Para cada fazenda foi desenhado um diagrama sistêmico de avaliação emergética, seguindo a metodologia proposta por Odum (1996) para a caracterização dos sistemas.

### 3.2.1 *Processamento de dados*

Foi realizada uma avaliação técnica de contribuições de entrada e saída de energia guiado por questionários validados. As energias foram classificadas em ambiental (I) ou econômica (F) de acordo com a origem. As energias da natureza foram sub classificadas em renováveis (R) e não renováveis (N), enquanto as energias da economia foram sub classificadas em materiais (M) e serviços (S). Ao final foram somadas todas as contribuições energéticas (Y) e a produtividade (Ep) e expressos em und/ha/ano (ORTEGA, 2003).

A organização desses dados foi feita por meio de tabela, em que cada fluxo de energia se tornou uma linha calculável de dados (Apêndice B), na qual os seus valores foram padronizados em unidades emergéticas por hectare ao ano (sej/ha/ano) por meio de transformidade solar descrita por outros autores.

### 3.2.2 *Avaliação de sustentabilidade*

Para analisar a sustentabilidade de cada sistema de cultivo de camarão foram aplicadas 6 equações matemáticas (COMAR; ORTEGA, 2003):

Transformidade (Tr, *Transformity*) que avaliou a qualidade do fluxo de energia por meio da relação entre a produção e a quantidade de energia utilizada:

$$Tr = \frac{Y}{Ep} \quad (1)$$

Sendo: Tr = transformidade; Y = total da energia aplicada; Ep = total de energia produzida. Quanto menor for Tr, maior foi a qualidade do fluxo de energia, devido ao menor uso de energia para produção.

Renovabilidade emergética (%R, % *Renewability*) que avaliou o grau de sustentabilidade por meio da importância dos recursos da natureza empregados no sistema, sendo expresso em porcentagem:

$$\%R = \frac{R}{Y} \times 100 \quad (2)$$

Sendo: %R = renovabilidade emergética; R = recursos renováveis; Y = total da energia aplicada. Quanto maior for %R, maior foi a contribuição da natureza no sistema de cultivo.

Razão de investimento emergético (EIR, *Emergy Investment Ratio*) que avaliou a sensibilidade do empreendimento a oscilações financeiras por meio da intensidade dos recursos econômicos empregados em relação aos recursos da natureza:

$$EIR = \frac{F}{I} \quad (3)$$

Sendo: EIR = razão de investimento emergético; F = recursos econômicos; I = recursos da natureza. Quanto menor for EIR, maior foi a eficiência do sistema em utilizar os recursos renováveis e menor será a sua dependência de recursos econômicos, conseqüentemente menos sensível a oscilações financeiras.

Razão de rendimento emergético (EYR, *Emergy Yield Ratio*) que avaliou a quantidade de retorno econômico em relação a energia da natureza empregada:

$$EYR = \frac{Y}{F} \geq 1 \quad (4)$$

Sendo: EYR = razão de rendimento emergético; Y = total da energia aplicada; F = recursos econômicos. Quanto mais próximo de 1, menor foi a capacidade do empreendimento de gerar retorno financeiro ou promover crescimento.

Taxa de carga ambiental (ELR, *Environmental Loading Ratio*) que avaliou a pressão causada ao ecossistema pelo sistema produtivo por meio da importância dada aos recursos econômicos e ambientais não renováveis:

$$ELR = \frac{(N+F)}{R} \quad (5)$$

Sendo: ELR = taxa de carga ambiental; N = recursos não renováveis; F = recursos econômicos; R = recursos renováveis. Quando  $ELR \leq 2$ , o impacto causado pela atividade produtiva foi considerado baixo ou diluído em relação a área do empreendimento, quando  $3 > ELR < 10$ , o impacto causado pela atividade foi considerado moderado e quando  $ELR > 10$ , o impacto causado pela atividade foi considerado alto ou muito concentrado em relação a área do empreendimento (BROWN; ULGIATI, 2004).

Índice de sustentabilidade emergética (ESI, *Emergy Sustainability Index*) que avaliou se o sistema produtivo alcançou um equilíbrio natural por meio das avaliações de rendimento e estresse ambiental:

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} \quad (6)$$

Sendo: ESI = índice de sustentabilidade emergética; EYR = razão de rendimento emergético; ELR = taxa de carga ambiental. Quando  $ESI < 1$ , a atividade foi considerada insustentável, em desequilíbrio ambiental e voltada apenas para o consumo e quando  $1 > ESI <$

10, a atividade foi considerada sustentável e economicamente em desenvolvimento (BROWN; ULGIATI, 2004).

### 3.3 Avaliação microbiológica

A influência das biotecnologias aplicadas na segurança alimentar de cada sistema produtivo foi avaliada através de análise microbiológica da qualidade do camarão e da água. Essas avaliações foram feitas no Laboratório de Microbiologia Ambiental e do Pescado, localizado no Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará.

Foi realizado um plano amostral por fazenda de camarão de acordo com o porte do empreendimento. Cada plano foi composto por amostras de camarão e de água de diferentes viveiros ou tanques a partir dos 60 dias de cultivo ou com camarões maiores que 7 g. Neste estágio os camarões estavam aptos para serem comercializados.

A avaliação de qualidade microbiológica foi realizada com o objetivo de indicar a presença de bactérias patogênicas no sistema levando em consideração as diferenças estruturais dos empreendimentos. O maior número de amostras foi coletado no sistema semi-intensivo por conta do seu grande porte, enquanto o menor número de amostras foi coletado no sistema intensivo devido ao seu pequeno porte, método de abastecimento por derivação e dimensão dos viveiros. No sistema superintensivo foram coletadas duas amostras devido o sistema possuir dois tanques suspensos para engorda de camarões (Quadro 2).

Quadro 2 - Plano amostral das análises microbiológicas.

Sistema	Amostras de camarão	Amostras de água
Semi-intensivo	5	5
Intensivo	1	1
Superintensivo com uso de bioflocos	2	2

Fonte: Dados de pesquisa.

As amostras de camarão foram submetidas a contagem padrão em placas de bactérias mesófilas, *Vibrio*, *V. parahaemolyticus*, número mais provável de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* e presença de *Salmonella* (Apêndice C). Sendo essas as bactérias mais destacadas para aferir a segurança alimentar em pescado (BLAHA *et al.*, 2011).

Enquanto que as amostras de água foram submetidas a contagem padrão em placas de *Vibrio* e *V. parahaemolyticus* e número mais provável de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* (Apêndice C). Sendo as mais destacadas para aferir as condições de cultivo de

organismos aquáticos devido a possibilidade de serem transferidos da água para os camarões (PEREIRA *et al.*, 2006).

### 3.3.1 Qualidade do camarão

A classificação da qualidade das amostras de camarão foi dada em duas classes: aceitável e inaceitável, de acordo com limites estabelecidos pelo *Codex Alimentarius* (ICMSF, 1986) para crustáceos congelados crus e pela resolução ANVISA n° 12, de 02 de janeiro de 2001 (ANVISA, 2001) (Quadro 3).

Quadro 3 - Níveis microbiológicos para determinar qualidade dos camarões.

Avaliação microbiológica	Aceitável	Inaceitável
Bactérias mesófilas	10 <sup>6</sup> UFC/g	10 <sup>7</sup> UFC/g
<i>Vibrio</i>	-	-
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	10 <sup>2</sup> UFC/g	10 <sup>3</sup> UFC/g
Coliformes termotolerantes	10 <sup>2</sup> NMP/g	10 <sup>3</sup> NMP/g
<i>Escherichia coli</i>	11 NMP/g	500 NMP/g
<i>Salmonella sp.</i>	Ausente em 25 g	Presente em 25g

Fonte: ICMSF, 1986; ANVISA, 2001.

#### 3.3.1.1 Bactérias heterotróficas mesófilas

A quantificação de bactérias heterotróficas mesófilas foi realizada de acordo com a metodologia do *Bacteriological Analysis Manual* (BAM) descrita por Maturin e Peeler, 2001 e os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônia por grama (UFC/g).

Cada amostra de 25 g de camarão foi processada assepticamente e diluída em 225 ml de solução salina 0,85% NaCl para homogeneização (10<sup>-1</sup>), em seguida foram realizadas 4 diluições seriadas em tubos de ensaio contendo 9 ml do mesmo diluente (10<sup>-2</sup> a 10<sup>-5</sup>). Após as diluições foi transferido 1 ml de cada tubo para placas de Petri, em duplicata, na qual foi adicionado ágar contagem em placas (PCA, *Plate Count Agar*) pelo método *pour plate*. As contagens foram realizadas após incubação em estufa bacteriológica por 48 horas a 35°C.

#### 3.3.1.2 *Vibrio*

A quantificação de *Vibrio* foi realizada de acordo com a metodologia do *Bacteriological Analysis Manual* (BAM) descrita por Kaysner e Depaola (2004) e os resultados foram expressos em UFC/g.

Cada amostra de 25 g de camarão foi processada assepticamente e diluída em 225 ml de solução salina 1% NaCl para homogeneização ( $10^{-1}$ ), em seguida foram realizadas diluições seriadas em tubos contendo 9 ml do mesmo diluente ( $10^{-2}$  a  $10^{-5}$ ). Após as diluições foi transferido 0,2 ml de cada tubo para placas de Petri, em duplicata, contendo ágar tiosulfato, citrato, bile e sacarose (TCBS) pelo método *spread plate*. As placas foram incubadas em estufa bacteriológica por 24 horas a 35°C.

A contagem de *Vibrio* foi expressa a partir da contagem de colônias verdes ou amarelas com 2-3 mm de diâmetro. Para contagem de *Vibrio parahaemolyticus*, as colônias verdes com 2-3 mm de diâmetro foram isoladas em ágar triptona de soja (TSA) com 1% de NaCl, incubados em estufa bacteriológica por 24 horas a 35°C e submetidos a teste de halofilismo em caldo triptona a 0%, 3%, 6% e 8% de NaCl, teste de Voges-Proskauer (VP), teste da hidrólise do Orto-nitrofenil- $\beta$  – D-Galacto-Piranosídeo (ONPG), prova da fermentação de manitol e D-glucosamine e teste de produção do Indol (VIEIRA; TORRES, 2004a; NOGUEROLA; BLANCH, 2008).

### 3.3.1.3 Coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*

A enumeração de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* foram realizadas de acordo com a metodologia do *Bacteriological Analysis Manual* (BAM) descrita por Feng *et al.* (2002) e os resultados foram expressos em número mais provável por grama (NMP/g) a partir da combinação de tubos positivos (BLODGETT, 2010).

Cada amostra de 25 g de camarão foi processada assepticamente e diluída em 225 ml de solução salina 0,85% NaCl para homogeneização ( $10^{-1}$ ), em seguida foram realizadas 4 diluições seriadas em tubos contendo 9 ml do mesmo diluente ( $10^{-2}$  a  $10^{-5}$ ). Após as diluições foram transferidas alíquotas de 1 ml de cada diluição para 5 séries de 3 tubos contendo 10 ml de caldo Lauril Mug que foram incubados em estufa bacteriológica por 48 horas a 35°C.

Para determinação de coliformes termotolerantes, após incubação, os tubos de ensaio que apresentaram turvação e/ou produção de gás foram repicados para tubos de ensaio com rosca contendo 4 ml de caldo *Escherichia coli* (EC). Em seguida, os tubos foram incubados em banho-maria por 48 horas a 45°C. Os tubos positivos foram aqueles que turvaram e produziram gás.

Para determinação de *Escherichia coli*, após incubação, os tubos de ensaio que apresentaram turvação e/ou produção de gás foram expostos a lâmpada UV (336 nm). Os tubos positivos foram aqueles que apresentaram fluorescência.

#### 3.3.1.4 *Salmonella*

A pesquisa de *Salmonella* foi realizada de acordo com a metodologia do *Bacteriological Analysis Manual* (BAM) descrita por ANDREWS *et al.* (2009) com modificações.

Cada amostra de 25 g de camarão foi processada assepticamente e diluída em 225 ml de caldo lactosado (CL) para homogeneização e pré enriquecimento, em seguida foi incubado em estufa bacteriológica por 24 horas a 35°C. Após o pré enriquecimento se procedeu o enriquecimento seletivo, na qual foi retirado alíquotas de 0,1 ml e transferido respectivamente para 9,9 ml de caldo Rappaport-Vassiliadis (RV) e 10 ml para caldo tetrionato (TT). Os caldos de RV e TT foram incubados por 24 horas a 42°C e 35°C, respectivamente (VIEIRA; TORRES, 2004b).

Após o enriquecimento das amostras para restaurar células bacterianas que possam ter sido danificadas durante processamento ou armazenamento do camarão foi realizado isolamento das mesmas em dois meios seletivos: ágar verde brilhante (VB) e ágar entérico Hektoen (HE) (BRASIL, 2011).

Em ágar VB foram isoladas as colônias brancas com halos vermelhos e em ágar HE as colônias verdes a verdes azuladas com centro preto. Os isolados foram submetidos a provas bioquímicas de triagem em ágar tríplice açúcar ferro (TSI, *Triple Sugar Iron*), ágar lisina ferro (LIA, *Lisine Iron Agar*), ágar sulfeto indol motilidade (SIM), ágar citrato e caldo ureia em incubação de 24 horas a 35°C. Após a triagem as colônias características foram submetidas a teste sorológico (ANDREWS *et al.*, 2009).

#### 3.3.2 *Qualidade da água*

A classificação da qualidade da água dos sistemas de cultivo foi dada em duas classes: próprio e impróprio conforme as normas das resoluções do CONAMA nº 274 de 29 de novembro de 2000 e nº 357 de 17 de março de 2005 que determinam os limites de qualidade microbiológica da água para contato direto e do sistema de cultivo de organismos aquáticos respectivamente, utilizando os coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* como microrganismos indicadores (CONAMA, 2000; 2005). Para *Vibrio* não foi adotado limites de qualidade, pois o mesmo faz parte da microbiota natural de ambientes marinhos e estuarinos (Quadro 4).

Quadro 4 - Níveis microbiológicos para determinar qualidade da água do sistema de cultivo.

Avaliação microbiológica	Próprio	Impróprio
<i>Vibrio</i>	-	-
Coliformes termotolerantes	≤2500 NMP/100 ml	>2500 NMP/100 ml
<i>Escherichia coli</i>	≤2000 NMP/100 ml	>2000 NMP/100 ml

Fonte: CONAMA 2000; 2005.

### 3.3.2.1 *Vibrio*

A quantificação de *Vibrio* foi realizada de acordo com a metodologia do *Bacteriological Analysis Manual* (BAM) descrita por Kaysner e Depaola (2004) e os resultados foram expressos em unidade formadora de colônias por mililitros (UFC/ml).

Cada amostra de água foi diluída em solução salina 1% de NaCl na proporção de 1:9 ( $10^{-1}$ ) e em seguida foi realizado diluições seriadas ( $10^{-2}$  a  $10^{-5}$ ). Após as diluições foi transferido 0,2 ml de diluição para placas de Petri, em duplicata, contendo ágar tiosulfato, citrato, bile e sacarose (TCBS) pelo método *spread plate*. As placas foram incubadas em estufa bacteriológica por 24 horas a 35°C.

A contagem de *Vibrio* foi expressa a partir da contagem de colônias verdes ou amarelas com 2-3 mm de diâmetro. Para contagem de *Vibrio parahaemolyticus*, as colônias verdes com 2-3 mm de diâmetro foram isoladas em ágar tripton de soja (TSA) com 1% de NaCl, incubados em estufa bacteriológica por 24 horas a 35°C e submetidos a teste de halofilismo em caldo tripton a 0%, 3%, 6% e 8% de NaCl, teste de Voges-Proskauer (VP), teste da hidrólise do Orto-nitrofenil-β – D-Galacto-Piranosídeo (ONPG), prova da fermentação de manitol e D-glucosamine e teste de produção do Indol (VIEIRA; TORRES, 2004a; NOGUEROLA; BLANCH, 2008).

### 3.3.2.2 *Coliformes termotolerantes e Escherichia coli*

A enumeração de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* foi realizada de acordo com a metodologia do *Bacteriological Analysis Manual* (BAM) descrita por Feng *et al.* (2002) e os resultados foram expressos em número mais provável por mililitros (NMP/ml) a partir da combinação de tubos positivos (BLODGETT, 2010).

Cada amostra de água do sistema de cultivo foi diluída em solução salina 0,85% de NaCl na proporção 1:9 ( $10^{-1}$ ), em seguida foram realizadas 4 diluições seriadas em tubos

contendo 9 ml do mesmo diluente ( $10^{-2}$  a  $10^{-5}$ ). Após as diluições foram transferidas alíquotas de 1 ml de cada diluição para 5 séries de 5 tubos contendo 10 ml de caldo Lauril Mug que foram incubados em estufa bacteriológica por 48 horas a 35°C.

Para determinação de coliformes termotolerantes, após incubação, os tubos que apresentaram turvação e/ou produção de gás foram repicados para tubos de ensaio com rosca contendo 4 ml de caldo EC que foram incubados em banho-maria por 48 horas a 45°C. Os tubos positivos foram aqueles que turvaram e produziram gás.

Para determinação de *Escherichia coli*, após incubação, os tubos que apresentaram turvação e/ou produção de gás foram expostos à lâmpada UV (336 nm). Os tubos positivos foram àqueles tubos que apresentaram fluorescência.

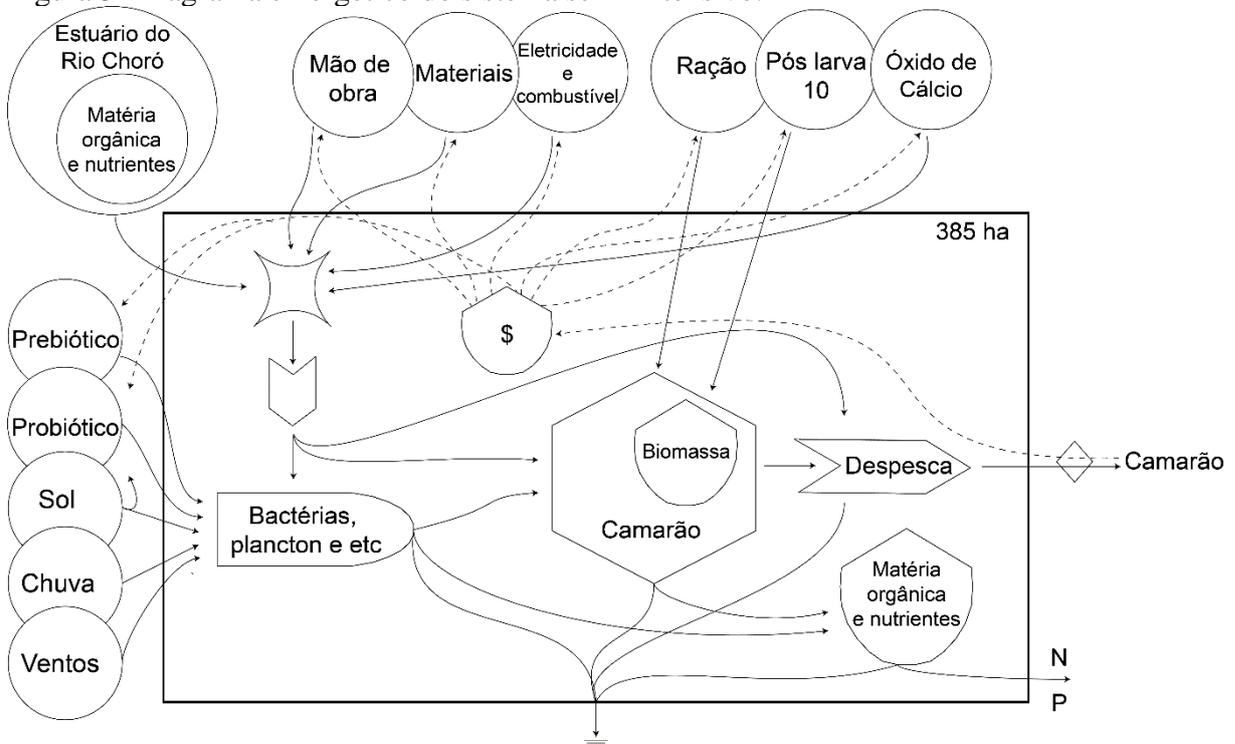
## 4 RESULTADOS

### 4.1 Avaliação emergética

#### 4.1.1 Sistema semi-intensivo

A fazenda de cultivo semi-intensivo de grande porte (F1) foi avaliada em junho de 2018 e está localizada no município de Beberibe, mesorregião Norte Cearense, sendo abastecida pelo Estuário do Rio Choró, em uma área de 709 ha com 385 ha de área produtiva distribuída em 56 viveiros escavados de 1,5 m de lâmina d'água salina em temperatura média de 28°C (Figura 3).

Figura 3- Diagrama emergético do sistema semi-intensivo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os camarões eram alimentados duas vezes ao dia com ração comercial com 35% de proteína bruta. A cada ciclo os viveiros eram esvaziados, a matéria orgânica era removida e descartada sem tratamento e o solo dos viveiros recebia correção de pH com 1 ton de óxido de cálcio (CaO) por ha/ciclo, além de exposição à radiação solar direta.

Neste sistema de cultivo era utilizado a simbiose entre prebiótico e probiótico, o probiótico com aplicação de 100 g por hectare duas vezes por semana e o prebiótico (farelo de arroz) com aplicação semanal de 3 kg por hectare. De acordo com o fabricante, o probiótico comercial utilizado era composto por *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* e veículos.

Nesse sistema as contribuições energéticas mais importantes por hectare foram água (40%), óxido de cálcio (34%), ração (12%) e mão de obra (3%). Sendo que a aquisição e aplicação do probiótico representou 0,5% do total das contribuições aplicadas no sistema enquanto que o prebiótico representou 5% (Tabela 2).

Tabela 2 - Avaliação emergética do sistema semi-intensivo.

Nota	Item	und	und/ha/ano	sej/und	Referência sej/und	Emergia Solar
<b>Contribuições da Natureza (I)</b>						
<b>Renovável (R)</b>						
1	Radiação solar	J	5,64E+09	1,00E+00	Odum, 2000	5,64E+09
2	Chuva	J	7,08E+10	3,10E+04	Odum, 2000	2,19E+15
3	Ventos	J	1,03E+07	2,45E+03	Odum, 2000	2,53E+10
4	Probiótico	g	1,44E+04	2,49E+10	Ortega, 1998	3,59E+14
5	Prebiótico (farelo de arroz)	g	1,56E+05	2,49E+10	Ortega, 1998	3,88E+15
<b>Não Renovável (N)</b>						
6	Água	J	3,63E+11	8,10E+04	Brown; Ulgiati, 2004	2,94E+16
<b>Contribuições da Economia (F)</b>						
<b>Materiais (M)</b>						
7	Densidade estocagem	J	5,61E+02	2,20E+07	Brown; Ulgiati, 2004	1,23E+10
8	Aerador 2cv	US\$	1,19E+02	3,70E+12	Ortega, 1998	4,40E+14
9	Balança	US\$	4,75E+00	3,70E+12	Ortega, 1998	1,76E+13
10	Caiaque	US\$	1,14E+01	3,70E+12	Ortega, 1998	4,22E+13
11	Oxímetro	US\$	7,72E+00	3,70E+12	Ortega, 1998	2,86E+13
12	Medidor de pH	US\$	7,92E-01	3,70E+12	Ortega, 1998	2,93E+12
13	Refratômetro	US\$	2,38E-01	3,70E+12	Ortega, 1998	8,79E+11
14	Microscópio	US\$	1,19E-01	3,70E+12	Ortega, 1998	4,40E+11
15	Motor bomba	US\$	5,7E+01	3,70E+12	Ortega, 1998	2,11E+14
16	Ração	g	4,21E+06	2,05E+09	Ortega, 1998	8,63E+15
17	Óxido de Cálcio	g	1,00E+06	2,49E+10	Ortega, 1998	2,49E+16
18	Energia elétrica	J	6,17E+09	2,69E+05	Odum, 2000	1,66E+15
19	Diesel	J	6,24E+02	1,11E+05	Odum, 2000	6,93E+07
20	Gasolina	J	3,28E+02	1,11E+05	Odum, 2000	3,64E+07
<b>Serviços (S)</b>						
21	Mão de obra	J	2,32E+08	7,56E+06	Odum, 2000	1,76E+15
22	Assistência técnica	J	2,45E+07	7,56E+06	Odum, 2000	1,85E+14
23	Aplicação de probiótico	US\$	4,28E+01	3,70E+12	Ortega, 1998	1,58E+14
24	Aplicação de prebiótico	US\$	2,14E-01	3,70E+12	Ortega, 1998	7,91E+11
<b>Produção (Ep)</b>						<b>Y 7,37E+16</b>
25	Camarão	J	6,98E+10			

Fonte: Dados de pesquisa.

De acordo com os indicadores calculados foi possível observar que as contribuições com aquisição e aplicação dos simbióticos influenciaram em 64% na renovabilidade emergética do sistema (%Re), em 13% na taxa de dependência a variações econômicas (EIR), em 5% na eficiência de conversão energética (EYR), em 192% na taxa de estresse ambiental (ELR), em 67% no índice de sustentabilidade (ESI) (Tabela 3).

Tabela 3 - Índices emergéticos do sistema semi-intensivo.

<b>Índice</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Com simbióticos</b>	<b>Sem simbióticos</b>
Renovabilidade emergética – %Re	$(R/Y) \times 100$	8,72	3,16
Investimento emergético – EIR	F/I	1,06	1,20
Rendimento emergético – EYR	Y/F	1,94	1,83
Carga ambiental – ELR	$(F+N)/R$	10,47	30,64
Sustentabilidade emergética – ESI	EYR/ELR	0,19	0,06
Transformidade - Tr	Y/Ep	1,06E+06	9,94E+05

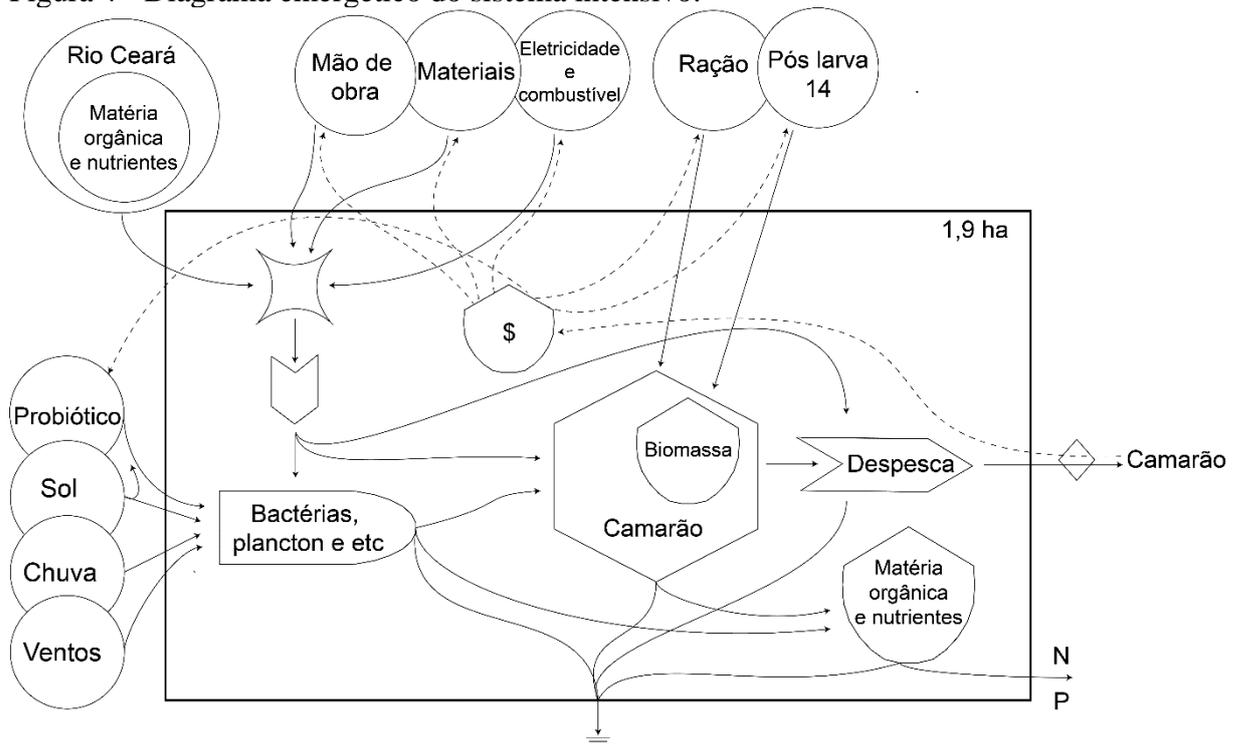
Fonte: Dados de pesquisa.

A partir dos indicadores de energia foi possível observar que as contribuições com aquisição e aplicação dos probióticos influenciaram em 13% na renovabilidade emergética do sistema (%Re), em 0,7% na taxa de dependência a variações econômicas (EIR), em 0,3% na eficiência de conversão energética (EYR), em 16% na taxa de estresse ambiental (ELR), em 14% no índice de sustentabilidade (ESI).

#### **4.1.2 Sistema intensivo**

A fazenda de cultivo intensivo e de pequeno porte (F2) foi avaliada em novembro de 2017 e está localizada no município de Caucaia, mesorregião metropolitana de Fortaleza, sendo abastecida por um afluente do Rio Ceará, em uma área de 611 ha com 1,9 ha de área produtiva distribuída em 19 viveiros escavados de 1,2 m de lâmina d'água oligohalina em temperatura média de 27°C (Figura 4).

Figura 4 - Diagrama emergético do sistema intensivo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os camarões eram alimentados duas vezes ao dia com ração comercial com 35% de proteína bruta. A cada ciclo os viveiros eram esvaziados, a matéria orgânica era removida, descartada sem tratamento, o solo recebia 10 dias de radiação solar direta e raras correções de pH com óxido de cálcio (CaO).

Neste sistema de cultivo era utilizado probiótico duas vezes por semana, sendo aplicado 1 kg por hectare. De acordo com o fabricante, o probiótico comercial utilizado era composto por *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus pumilus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Saccharomyces cerevisiae*, dextrose, extrato de leveduras e veículos.

Nesse sistema as contribuições energéticas mais importantes por hectare foram ração (26%), mão de obra (23%), energia elétrica (18%) e água (15%). Sendo que a aquisição e aplicação do probiótico representou 8% do total das contribuições aplicadas no sistema (Tabela 4).

Tabela 4 - Avaliação emergética do sistema intensivo.

Nota	Item	und	und/ha/ano	sej/und	Referência sej/und	Emergia Solar
<b>Contribuições da Natureza (I)</b>						
<b>Renovável (R)</b>						
1	Radiação solar	J	5,61E+09	1,00E+00	Odum, 2000	5,61E+09
2	Chuva	J	7,71E+10	3,10E+04	Odum, 2000	2,39E+15
3	Ventos	J	9,28E+06	2,45E+03	Odum, 2000	2,27E+10
4	Probiótico	g	4,29E+04	2,49E+10	Ortega, 1998	1,07E+15
<b>Não Renovável (N)</b>						
5	Água	J	1,90E+11	8,10E+04	Brown; Ulgiati, 2004	1,54E+16
<b>Contribuições da Economia (F)</b>						
<b>Materiais (M)</b>						
6	Densidade estocagem	J	2,95E+03	2,20E+07	Brown; Ulgiati, 2004	6,49E+10
7	Aerador 2cv	US\$	1,20E+03	3,70E+12	Ortega, 1998	4,44E+15
8	Balança	US\$	2,18E+01	3,70E+12	Ortega, 1998	8,07E+13
9	Caixas plásticas	US\$	6,26E+00	3,70E+12	Ortega, 1998	2,32E+13
10	Caiaque	US\$	4,36E+01	3,70E+12	Ortega, 1998	1,61E+14
11	Oxímetro	US\$	3,05E+01	3,70E+12	Ortega, 1998	1,13E+14
12	Medidor de pH	US\$	6,36E+00	3,70E+12	Ortega, 1998	2,35E+13
13	Refratômetro	US\$	7,45E+00	3,70E+12	Ortega, 1998	2,76E+13
14	Microscópio	US\$	1,00E+02	3,70E+12	Ortega, 1998	3,71E+14
15	Gerador 4cv	US\$	3,66E+01	3,70E+12	Ortega, 1998	1,35E+14
16	Motor bomba	US\$	2,44E+01	3,70E+12	Ortega, 1998	9,03E+13
17	Ração	g	1,26E+07	2,05E+09	Ortega, 1998	2,59E+16
18	Energia elétrica	J	6,82E+10	2,69E+05	Odum, 2000	1,83E+16
19	Diesel	J	1,21E+06	1,11E+05	Odum, 2000	3,21E+07
<b>Serviços (S)</b>						
20	Mão de obra fixa	J	1,65E+09	7,56E+06	Odum, 2000	1,25E+16
21	Mão de obra temporária	J	8,26E+08	7,56E+06	Odum, 2000	6,24E+15
22	Assistência técnica	J	5,51E+08	7,56E+06	Odum, 2000	4,16E+15
23	Aquisição de probiótico	US\$	1,93E+03	3,70E+12	Ortega, 1998	7,13E+15
24	Outros serviços	US\$	6,41E+02	3,70E+12	Ortega, 1998	2,37E+15
<b>Produção (Ep)</b>						<b>Y 1,01E+17</b>
25	Camarão	J	2,83E+11			

Fonte: Dados de pesquisa.

A partir dos indicadores de energia foi possível observar que as contribuições com aquisição e aplicação dos probióticos influenciaram em 25% na renovabilidade emergética do sistema, em 34% na taxa de estresse ambiental, em 25% no índice de sustentabilidade (Tabela 5).

Tabela 5 - Índices emergéticos do sistema intensivo.

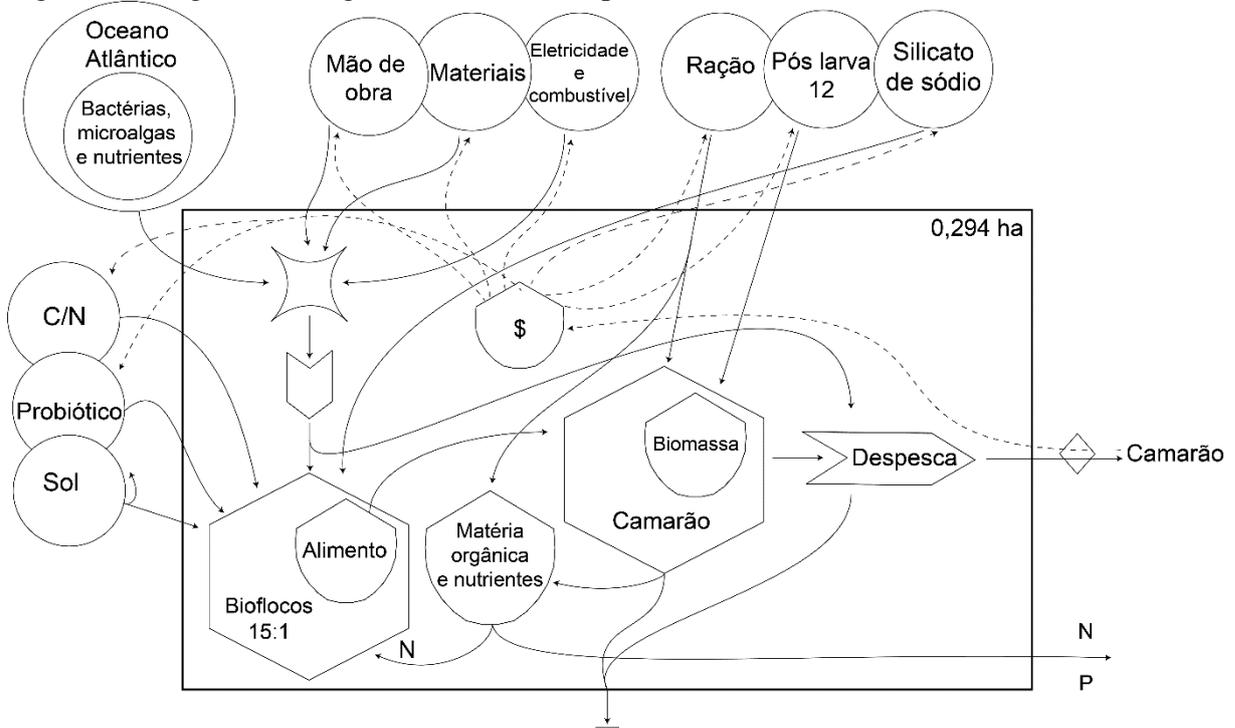
Índice	Fórmula	Com probiótico	Sem probiótico
Renovabilidade energética – %Re	$(R/Y) \times 100$	3,43	2,58
Investimento emergético – EIR	F/I	4,36	4,22
Rendimento emergético – EYR	Y/F	1,23	1,24
Carga ambiental – ELR	$(F+N)/R$	28,17	37,77
Sustentabilidade emergética – ESI	EYR/ELR	0,04	0,03
Transformidade - Tr	Y/Ep	3,56E+05	3,27E+05

Fonte: Dados de pesquisa.

#### 4.1.3 Sistema superintensivo com uso de bioflocos

A fazenda de cultivo superintensivo com uso de bioflocos e de pequeno porte (F3) foi avaliada em agosto de 2018, localizada no município de Paraipaba, mesorregião Norte Cearense, sendo abastecida por bombeamento de água do Oceano Atlântico. O empreendimento estava instalado em uma área de 2,7 ha com 0,294 ha de área produtiva distribuída em 3 tanques suspensos de 1250 m<sup>3</sup> com água salina e cobertos por lonas, estabelecendo um sistema de estufa com temperatura média da água de 30°C (Figura 4).

Figura 5 - Diagrama emergético do sistema superintensivo com uso de bioflocos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os camarões eram alimentados duas vezes ao dia com ração comercial com 35% de proteína bruta e a razão carbono-nitrogênio era mantida em 15:1. A cada ciclo os tanques suspensos eram esvaziados, a água era tratada, a matéria orgânica era removida e parte dela era descartada sem tratamento.

Neste sistema de cultivo era utilizado probiótico uma vez por semana, sendo aplicado 100 g por 1250 m<sup>3</sup>. De acordo com o fabricante, o probiótico comercial utilizado era composto por *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus pumilus*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Saccharomyces cerevisiae*, dextrose, extrato de leveduras e veículos.

Nesse sistema as contribuições energéticas mais importantes por hectare foram ração (33%), energia elétrica (19%), mão de obra (17%) e manutenção do bioflocos (14%). A aquisição e aplicação do probiótico representou 1% do total das contribuições aplicadas no sistema (Tabela 6).

Tabela 6 - Avaliação emergética do sistema superintensivo com uso de bioflocos.

Nota	Item	und	und/ha/ano	sej/und	Referência	sej/und	Energia Solar
<b>Contribuições da Natureza (I)</b>							
<b>Renovável (R)</b>							
1	Radiação solar	J	6,73E+09	1,00E+00	Odum, 2000		6,73E+09
2	Probiótico	g	4,37E+04	2,49E+10	Ortega, 1998		1,09E+15
3	Bioflocos	g	4,59E+06	2,49E+10	Ortega, 1998		1,14E+17
4	Água	J	6,30E+10	8,10E+04	Brown; Ulgiati, 2004		5,10E+15
<b>Contribuições da Economia (F)</b>							
<b>Materiais (M)</b>							
5	Densidade estocagem	J	2,29E+04	2,20E+07	Brown; Ulgiati, 2004		5,04E+11
6	Aerador 2cv	US\$	1,66E+03	3,70E+12	Ortega, 1998		6,14E+15
7	Balança	US\$	2,49E+02	3,70E+12	Ortega, 1998		9,21E+14
8	Oxímetro	US\$	7,78E+02	3,70E+12	Ortega, 1998		2,88E+15
9	Medidor de pH	US\$	2,59E+02	3,70E+12	Ortega, 1998		9,60E+14
10	Refratômetro	US\$	3,11E+01	3,70E+12	Ortega, 1998		1,15E+14
11	Microscópio	US\$	3,11E+02	3,70E+12	Ortega, 1998		1,15E+15
12	Compressor	US\$	3,11E+03	3,70E+12	Ortega, 1998		1,15E+16
13	Gerador	US\$	7,63E+01	3,70E+12	Ortega, 1998		2,82E+14
14	Cone Inhoff	US\$	3,11E+01	3,70E+12	Ortega, 1998		1,15E+14
15	Ração	g	1,31E+08	2,05E+09	Ortega, 1998		2,68E+17
16	Silicato	g	4,37E+05	2,49E+10	Ortega, 1998		1,09E+16
17	Energia elétrica	J	5,88E+11	2,69E+05	Odum, 2000		1,58E+17
<b>Serviços (S)</b>							
18	Mão de obra	J	1,71E+10	7,56E+06	Odum, 2000		4,93E+15

19	Assistência técnica	J	1,02E+09	7,56E+06	Odum, 2000	9,21E+16
20	Aquisição de probiótico	US\$	1,33E+03	3,70E+12	Ortega, 1998	4,93E+15
21	Manutenção do bioflocos		2,49E+04	3,70E+12	Ortega, 1998	9,21E+16
<b>Produção (Ep)</b>						<b>Y 8,15E+17</b>
22	Camarão	J	2,44E+12			

Fonte: Dados de pesquisa.

A partir dos indicadores de energia foi possível observar que as contribuições com aquisição e aplicação de probióticos dentro do sistema superintensivo com uso de bioflocos não foi superior a 0,05% em qualquer dos indicadores calculados (Tabela 7).

Tabela 7 - Índices emergéticos do sistema superintensivo com uso de bioflocos.

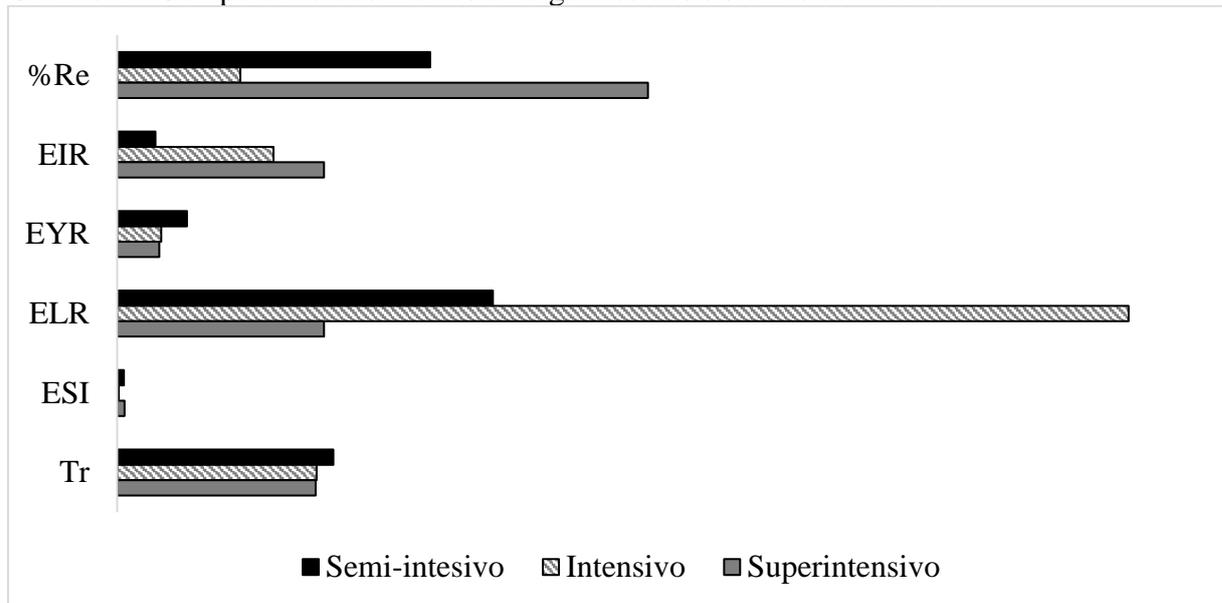
Índice	Fórmula	Com probiótico	Sem probiótico
Renovabilidade emergética – %Re	$(R/Y) \times 100$	14,79	14,76
Investimento emergético – EIR	F/I	5,76	5,77
Rendimento emergético – EYR	Y/F	1,17	1,17
Carga ambiental – ELR	$(F+N)/R$	5,76	5,77
Sustentabilidade emergética – ESI	EYR/ELR	0,20	0,20
Transformidade - Tr	Y/Ep	3,34E+05	3,32E+05

Fonte: Dados de pesquisa.

#### 4.1.4 Sistema convencional versus o uso de bioflocos

Em comparação ao sistema convencional, o superintensivo com uso de bioflocos se destacou por apresentar melhores índices de aproveitamento de recursos naturais renováveis, causar menos impacto ambiental, ser mais sustentável e produzir com menor quantidade de energia. Porém foi o que se mostrou mais sensível a oscilações financeiras e com o menor rendimento, devido a taxa de sobrevivência alcançada e a dependência de recursos econômicos (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Comparativo dos índices emergéticos dos sistemas de cultivo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda: %Re – Renovabilidade emergética; EIR – Investimento emergético; EYR - Rendimento emergético; ELR – Taxa de carga ambiental; ESI – Sustentabilidade emergética; Tr - Transformidade em log de base 10.

## 4.2 Avaliação microbiológica

### 4.2.1 Sistema semi-intensivo

Os resultados referentes aos camarões provenientes do sistema semi-intensivo estão descritos na tabela 8. Todas as amostras de camarão apresentaram índices aceitáveis de acordo com os limites preconizados pelas normativas de segurança alimentar.

Tabela 8 - Avaliação microbiológica de amostras de camarão do sistema semi-intensivo.

	Bactérias mesófilas UFC/g	<i>Vibrio</i> UFC/g	<i>V. parahaemolyticus</i> UFC/g	CT 45°C NMP/g	<i>E. coli</i> NMP/g	<i>Salmonella</i>
V1	1,87 x10 <sup>3</sup>	1,75 x10 <sup>2</sup>	Ausente	3	23	Ausente
V2	1,95 x10 <sup>4</sup>	2,2 x10 <sup>3</sup>	Ausente	460	460	Ausente
V3	7,9 x10 <sup>3</sup>	2,95 x10 <sup>3</sup>	Ausente	3	23	Ausente
V4	1,36 x10 <sup>3</sup>	6,75 x10 <sup>2</sup>	Ausente	3	23	Ausente
V5	2,9 x10 <sup>4</sup>	4,18 x10 <sup>3</sup>	Ausente	3	93	Ausente
Média	2,61 x10 <sup>4</sup>	2,04 x10 <sup>3</sup>	Ausente	94,4	124,4	Ausente
Qualidade	Aceitável					

Fonte: Dados de pesquisa.

Legenda: *E. coli* - *Escherichia coli*; CT 45° C - Coliformes termotolerantes; V<sub>(n)</sub> – Viveiro; UFC – Unidade Formadora de Colônias; NMP – Número Mais Provável.

A avaliação microbiológica da água utilizada para o cultivo desses camarões está descrita na tabela 9. E todas as amostras de água estavam em acordo com a legislação ambiental para cultivos de organismos aquáticos em água salina.

Tabela 9 - Avaliação microbiológica de amostras de água do sistema semi-intensivo.

	<i>Vibrio</i> UFC/ml	<i>V. parahaemolyticus</i> UFC/ml	CT 45°C NMP/ml	<i>E. coli</i> NMP/ml
V1	10 <sup>2</sup>	Ausente	< 1,8	< 1,8
V2	3 x10 <sup>2</sup>	Ausente	< 1,8	< 1,8
V3	7,5 x10	Ausente	< 1,8	7,8
V4	5 x10 <sup>2</sup>	Ausente	< 1,8	11
V5	Ausente	Ausente	< 1,8	6,8
Média	1,95 x10 <sup>2</sup>	Ausente	< 1,8	8,53
Qualidade		Próprio		

Fonte: Dados de pesquisa.

Legenda: *E. coli* - *Escherichia coli*; CT 45° C - Coliformes termotolerantes; V<sub>(n)</sub> – Viveiro; UFC – Unidade Formadora de Colônias; NMP – Número Mais Provável.

#### 4.2.2 Sistema intensivo

Os resultados provenientes do sistema intensivo referentes aos camarões e a água em que esses animais foram cultivados estão descritos na tabela 10. Nenhuma amostra de camarão ou água apresentou índices superiores aos preconizados pelas normativas de segurança alimentar e legislação ambiental.

Tabela 10 - Avaliação microbiológica de amostras de camarão e água do sistema intensivo.

	Bactérias mesófilas UFC	<i>Vibrio</i> NMP	<i>V. parahaemolyticus</i> UFC	CT 45°C NMP/g	<i>E. coli</i> NMP/g	<i>Salmonella</i>
Camarão (g)	2,6 x10 <sup>5</sup>	7,25 x10 <sup>3</sup>	Ausente	3	3	Ausente
Água (ml)	N/A	Ausente	Ausente	1,8	2	N/A
Qualidade		Aceitável/Próprio				

Fonte: Dados de pesquisa.

Legenda: *E. coli* - *Escherichia coli*; CT 45° C - Coliformes termotolerantes; UFC – Unidade Formadora de Colônias; NMP – Número Mais Provável; N/A – Não avaliado.

#### 4.2.3 Sistema superintensivo com uso de bioflocos

As análises microbiológicas oriundas dos camarões cultivados em sistema superintensivo com uso de bioflocos estão descritas na tabela 11. Todas as amostras de camarão

apresentaram índices aceitáveis de acordo com os limites preconizados pelas normativas de segurança alimentar.

Tabela 11 - Avaliação microbiológica de amostras de camarão do sistema superintensivo com uso de bioflocos.

	Bactérias mesófilas UFC/g	<i>Vibrio</i> UFC/g	<i>V. parahaemolyticus</i> UFC/g	CT 45°C NMP/g	<i>E. coli</i> NMP/g	<i>Salmonella</i>
TS1	3,45 x10 <sup>5</sup>	7,65 x10 <sup>4</sup>	Ausente	3,6	23	Ausente
TS2	5,15 x10 <sup>5</sup>	3,58 x10 <sup>4</sup>	Ausente	<1,8	9,2	Ausente
Média	4,3 x10 <sup>5</sup>	5,61 x10 <sup>4</sup>	Ausente	2,7	16,1	Ausente
Qualidade		Aceitável				

Fonte: Dados de pesquisa.

Legenda: *E. coli* - *Escherichia coli*; CT 45° C - Coliformes termotolerantes; TS<sub>(n)</sub> – Tanque Suspenso; UFC – Unidade Formadora de Colônias; NMP – Número Mais Provável; N/A – Não avaliado.

A qualidade microbiológica da água em que esses camarões foram cultivados está descrita na tabela 12. Observa-se que todas as amostras de água estavam de acordo com a legislação ambiental para cultivos de organismos aquáticos em água salina. Entretanto, foi identificado *V. parahaemolyticus*.

Tabela 12 - Avaliação microbiológica de amostras de água do sistema superintensivo com uso de bioflocos.

	<i>Vibrio</i> NMP/ml	<i>V. parahaemolyticus</i> UFC/ml	CT 45°C NMP/ml	<i>E. coli</i> NMP/ml
TS1	3,20 x10 <sup>3</sup>	1,94 x10 <sup>2</sup>	2	2
TS2	1,15 x10 <sup>3</sup>	5 x10	6,8	2
Média	2,18 x10 <sup>3</sup>	1,22 x10 <sup>2</sup>	4,4	2
Qualidade		Próprio		

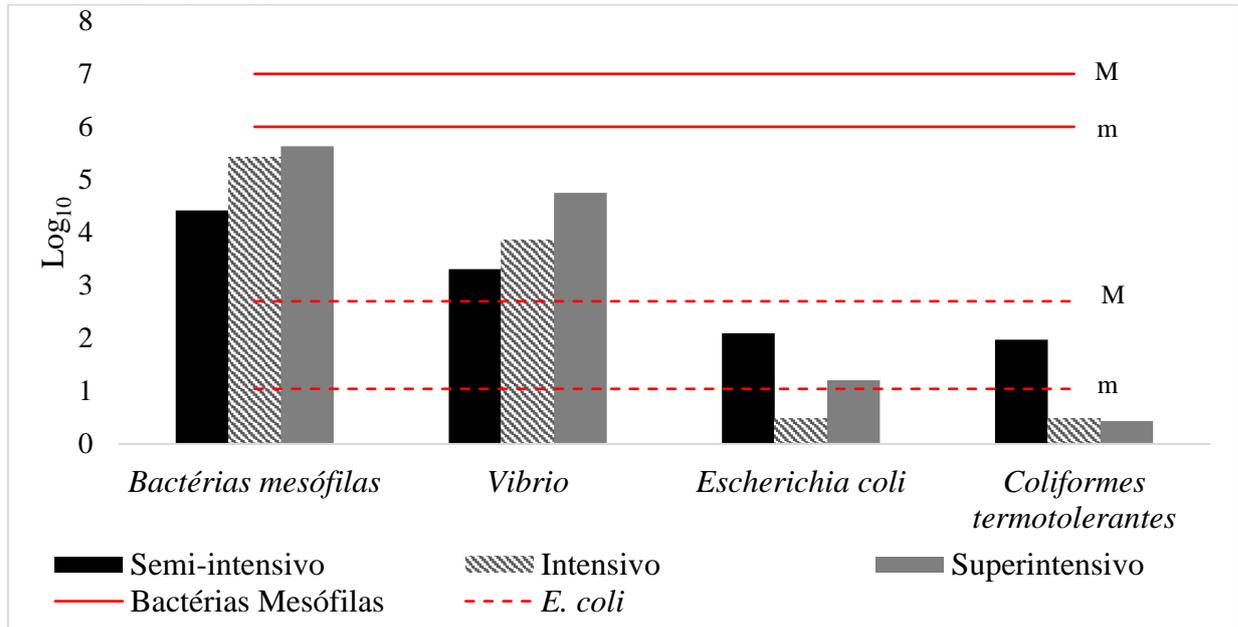
Fonte: Dados de pesquisa.

Legenda: *E. coli* - *Escherichia coli*; CT 45° C - Coliformes termotolerantes; TS<sub>(n)</sub> – Tanque Suspenso; UFC – Unidade Formadora de Colônias; NMP – Número Mais Provável; N/A – Não avaliado.

#### 4.2.4 Sistema convencional versus o uso de bioflocos

O sistema superintensivo com uso de bioflocos apresentou melhor perfil sanitário que o sistema semi-intensivo e similar ao sistema intensivo devido a menor presença de bactérias entéricas nas amostras de camarão (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Quantificação de bactérias indicadoras da qualidade microbiológica dos camarões dos sistemas de cultivo.

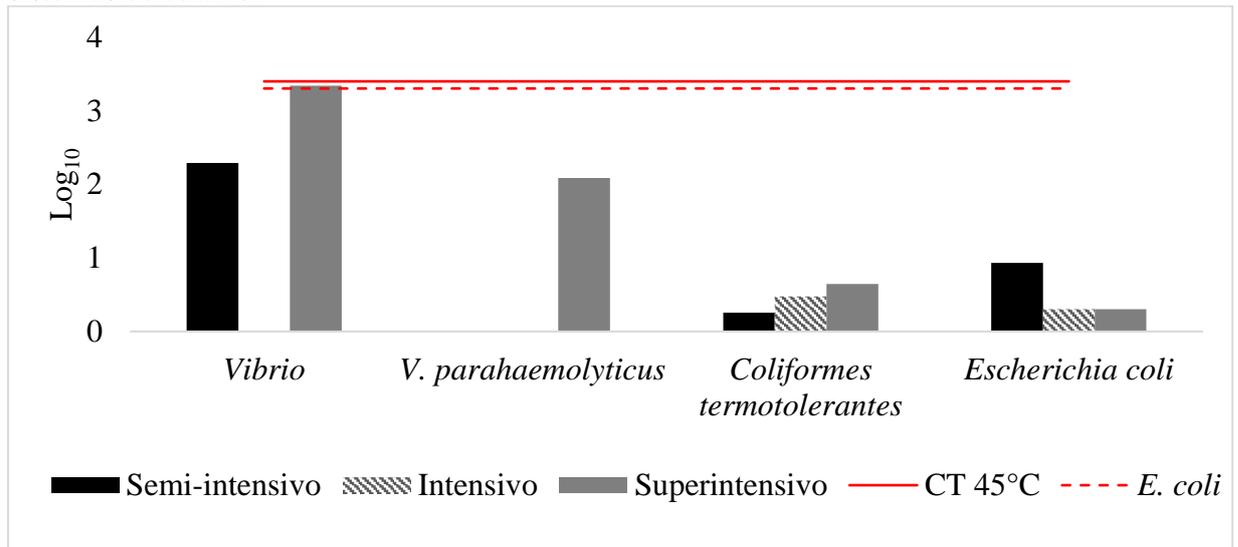


Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda: As linhas representam os limites microbiológicos recomendados pelo ICMSF, 1986; m - limite aceitável; M - limite inaceitável.

Todos sistemas produtivos não se aproximaram dos limites preconizados pela legislação ambiental para o cultivo de organismos aquáticos. (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Quantificação de bactérias indicadoras da qualidade microbiológica da água dos sistemas de cultivo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Legenda: As linhas representam os limites microbiológicos recomendados pelo CONAMA para cultivo de organismos aquáticos; CT 45° C - Coliformes termotolerantes.

## 5 DISCUSSÃO

### 5.1 Avaliação emergética

Todos sistemas de cultivo avaliados apresentaram semelhança quanto ao manejo alimentar com uso exclusivo de ração, prática considerada comum em cultivos comerciais (TACON *et al.*, 2002). Porém o perfil de intensificação dos cultivos proporcionou ganhos de produção com redução de áreas, produtos químicos e água. Esse incremento em eficiência é consequência do desenvolvimento tecnológico na produção de alimentos (KRUMMENAUER *et al.*, 2011).

O incremento de eficiência produtiva aos diferentes sistemas de cultivo de organismos aquáticos é mais eficaz com a incorporação de gestão e tecnologias sustentáveis desde que a sua aplicação seja em conjunto com as múltiplas variáveis que envolvem o cultivo de camarões marinhos (SUBASINGHE; SOTO; JIA, 2009; D'ABRAMO, 2015; HATJE *et al.*, 2016).

O manejo do solo realizado nos sistemas semi-intensivo e intensivo com dióxido de cálcio e irradiação solar é uma prática que os empreendimentos mais modernos não precisam realizar por conta da incorporação de tanques suspensos e lonas que estabelecem um sistema de estufa. Essas tecnologias reduzem a interferência ambiental no cultivo e são utilizadas pelos produtores com o objetivo de aumentar a biossegurança dos cultivos (BUSH *et al.*, 2010).

A poluição dos corpos hídricos por meio de lançamento de matéria orgânica sem tratamento é uma externalidade negativa normalmente associada à carcinicultura, relacionada a intensificação dos cultivos e que prejudica áreas adjacentes a produção com a redução da capacidade de suporte da água (ASCHENBROICH *et al.*, 2015). Entretanto, o reaproveitamento dessa matéria orgânica para atividades agrícolas secundárias é possível e benéfico ao meio ambiente e à saúde financeira do empreendimento (HAQUE *et al.*, 2016).

A aplicação de probióticos foi comum em todos sistemas de cultivo avaliados, sendo utilizado em diferentes concentrações e frequências. Essa biotecnologia com base microbiana é considerada benéfica ao meio ambiente devido a sua capacidade de incrementar sustentabilidade ao ser eficaz em aumentar a performance zootécnica dos animais, reduzir custos com doenças, aumentar tolerância a estresses ambientais, melhorar a qualidade da água e reduzir o uso indiscriminado de antibióticos (SIHAG; SHARMA, 2012; MOHAPATRA *et al.*, 2013; DAWOOD *et al.*, 2018).

As bactérias probióticas informadas pelos fabricantes e aplicadas pelos produtores nos sistemas de cultivo já foram estudadas de forma associada e dissociada por Wang *et al.* (2019) que afirmaram que os benéficos à saúde e ao desempenho zootécnico dos camarões

depende da concentração das bactérias, do consórcio bacteriano e do potencial probiótico das estirpes.

A influência positiva dos probióticos comerciais nos sistemas de cultivo foi apontada pelos indicadores emergéticos de renovabilidade (%Re) e estresse ambiental (ELR). Denotando que as bactérias probióticas são eficientes em melhorar o ambiente de cultivo, como destacado por Vieira *et al.* (2016) e Ramírez *et al.* (2013) ao estudarem o desempenho de camarões marinhos sob dietas suplementadas por probióticos, prebióticos e simbióticos.

Entretanto, a pouca influência dos probióticos nos índices de rendimento (EYR) e investimento (EIR) foi devido às taxas de sobrevivência alcançadas pelos produtores que reflete diretamente na receita e na produtividade por hectare. Apesar da influência pouco expressiva dos probióticos nesses indicadores, a sua aquisição e aplicação representaram um fluxo energético muito pequeno quando comparado a outras contribuições, como energia elétrica, água, mão de obra, ração e manutenção do sistema de bioflocos.

A insustentabilidade apresentada por todos os sistemas de cultivo é indicada pelo desequilíbrio entre as elevadas taxas de estresse ambiental (ELR) e os baixos índices de rendimento emergético (EYR). Isso indica a importância de medidas de gestão para evitar a intensificação desordenada na carcinicultura, pois quando realizada em condições de alto impacto ambiental pode acarretar em perdas de áreas produtivas. Esse perfil de insustentabilidade já foi observado no cultivo de camarões no Brasil e no Equador (ODUM; ARDING, 1991; LIMA; RIVERA; FOCKEN, 2012).

Apesar da insustentabilidade dos sistemas, o superintensivo com uso de bioflocos apresentou melhores índices emergéticos quando comparado aos sistemas convencionais. Sendo possível evidenciar que o sistema superintensivo obteve melhor aproveitamento dos recursos renováveis (%Re), maior retorno de investimento (EIR), melhor capacidade de transformidade (Tr), causou menos impacto ambiental (ELR) e foi mais sustentável (ESI). Contudo, o sistema apresentou rendimento (EYR) inferior ao sistema intensivo.

A tecnologia de bioflocos em condições experimentais de cultivo superintensivo tem apresentado bons índices de sustentabilidade e bons resultados zootécnicos, com ou sem a influência dos probióticos (KRUMMENAUER *et al.*, 2011; MELO *et al.*, 2015). Porém, os cultivos comerciais precisam melhorar os seus indicadores de rendimento e *performance* zootécnica que são muito próximos ao sistema intensivo devido a sua alta dependência de recursos econômicos e sensibilidade frente às oscilações financeiras para sustentar a produção no nordeste brasileiro (REGO *et al.*, 2017b).

Essa dependência é causada pelo maior uso de energia elétrica para garantir oxigenação aos camarões cultivados em altas densidades. Isso implica em maior necessidade de combustíveis fósseis e contribuições da economia. Algumas alternativas de produção de energia limpa vêm sendo estudadas para ampliar a sustentabilidade de sistemas produtivos, dentre elas, a utilização de microalgas para produção de combustível e placas fotovoltaicas para produção de energia a partir da irradiação solar (ELTAWIL; ELSBAAY, 2016; SHUBA; KIFLE, 2018).

A adoção de medidas que possibilitem a transição da produção de camarão marinho no Ceará para um perfil sustentável proporcionaria melhoras na competitividade de mercado e a sua reinserção em cadeias globais (TAHIM *et al.*, 2014).

## 5.2 Avaliação microbiológica

Todos os sistemas produtivos apresentaram camarões com índices microbiológicos seguros ao consumidor e água apropriada para o cultivo de organismos aquáticos, o que ressalta a eficiência dos empreendimentos em ofertar alimentos saudáveis. A gestão e o uso eficiente das interações microbianas nos sistemas produtivos de pescado, através de bactérias probióticas, são fundamentais para segurança alimentar que visa ampliar a capacidade produtiva de alimentos saudáveis (BENTZON-TILIA; SONNENSCHNEIN; GRAM, 2016).

O manejo produtivo dos sistemas de cultivo, assim como as características ambientais, está inteiramente ligado a qualidade microbiológica do pescado por conta do potencial de alguns grupos bacterianos. No presente estudo, a carga bacteriana dos camarões cultivados no sistema com uso de bioflocos foi maior do que os cultivados em sistema convencional, mas dentro do esperado para ambientes tropicais (DABADÉ *et al.*, 2015).

A qualidade microbiológica dos sistemas avaliados foi similar ao apresentado por Brito *et al.* (2016) em cultivo de camarão em Pernambuco. Os autores também evidenciaram baixas concentrações de bactérias entéricas, ausência de *Salmonella* e maior excelência sanitária no cultivo com uso de bioflocos em relação ao convencional. De acordo com o *Codex Alimentarius* (ICMSF, 1986), as contagens inferiores a 11 NMP/g indicam excelência sanitária e segurança alimentar, porém até 500 NMP/g, o camarão é considerado seguro.

Dentre as bactérias entéricas, *Salmonella* tem sido cada vez mais rara em cultivos de camarão marinho no Brasil e tem sido combatida com a substituição de fertilizantes de origem animal não tratados por produtos mais eficientes como fertilizantes orgânicos,

probióticos e prebióticos (DALSGAARD *et al.*, 1995; PARENTE *et al.*, 2011; FIALHO *et al.*, 2014).

Apesar da rara presença de *Salmonella* nos ambientes de cultivo, a probabilidade dessa condição ocorrer está associada a presença de outras bactérias da família Enterobacteriaceae. As chances de contaminação do camarão por *Salmonella* são de 1243 e 1217 vezes maior a cada acréscimo de uma unidade de log nas concentrações de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* na água, respectivamente (KOONSE *et al.*, 2005).

Nesse contexto, o principal objetivo do investimento dos produtores em probióticos e bioflocos no cultivo de camarão marinho é por causa da capacidade desses consórcios microbianos serem eficazes no combate às bactérias patogênicas, como no caso da linhagem de *Vibrio parahaemolyticus* que é capaz de provocar doença aguda de necrose hepatopancreática e síndrome da mortalidade precoce em camarões e gastroenterite em seres humanos (MORIARTY, 1998; CHOI *et al.*, 2017; RASZL *et al.*, 2016; SAJALI *et al.*, 2019).

Essas biotecnologias possibilitam vantagem competitiva aos organismos aquáticos através da produção de compostos antibacterianos, competição por compostos químicos, nutrientes, matéria orgânica, substratos de aderência, além de modulação imunológica e alterações na eficiência enzimática dos camarões cultivados (KONGNUM; HONGPATTARAKERE, 2012; MOHAPATRA *et al.*, 2013; ABDOLLAHI-ARPAHAHI *et al.*, 2018; AKINSEMOLU *et al.*, 2018)

No presente estudo, a ocorrência de *Vibrio parahaemolyticus* em uma das amostras de água no sistema de bioflocos e as contagens de *Vibrio* superiores aos sistemas convencionais foram considerados comuns devido os cultivos estarem em áreas diferentes. Sendo que a patogenicidade da espécie está associada a desequilíbrios ambientais e a dose infectante de bactérias capazes de expressar os genes de virulência (GOPAL *et al.*, 2005)

As taxas de densidade de estocagem superiores aos suportados pelo ambiente de cultivo está entre os principais desequilíbrios ambientais, sendo capazes de reduzir as taxas de sobrevivência afetando a capacidade imunológica, antioxidante e enzimática dos camarões mesmo em ambientes com maior biossegurança e com aplicação de probióticos (LIU *et al.*, 2017).

Alguns fatores exógenos ao manejo dos sistemas produtivos também já foram evidenciados como responsáveis pela contaminação do camarão e da água. Dentre eles, a aquisição de pós lavas, ração, fertilizantes e gelo contaminados por bactérias patogênicas. Isso evidencia que os esforços em sustentabilidade e segurança alimentar devem estar alinhados em

toda cadeia produtiva de camarões e não apenas na fase de engorda (KOONSE *et al.*, 2005; BRITO *et al.*, 2016; TAYLOR; KLUGER, 2018).

Nesse contexto, para garantir a segurança alimentar e reduzir as perdas econômicas por doenças bacterianas nos camarões produzidos na fase de engorda é fundamental a implementação de um programa de análise de pontos críticos de controle para avaliar a qualidade microbiológica da água utilizada, dos camarões produzidos e dos fornecedores de insumos (REBOUÇAS *et al.*, 2017; HAMILTON *et al.*, 2018).

## 6 CONCLUSÃO

Considerando o resultado dos indicadores de sustentabilidade emergéticos dessa pesquisa foi possível observar que os probióticos ampliaram a sustentabilidade dos sistemas de cultivo devido aos incrementos em renovabilidade emergética, rendimento, retorno de investimento e redução de estresse ambiental.

Sob o ponto de vista de segurança dos alimentos, a água e os camarões produzidos nos sistemas de cultivo analisados estiveram dentro dos parâmetros microbiológicos exigidos pela legislação brasileira visando a segurança alimentar.

A utilização da tecnologia de bioflocos para intensificação do cultivo de camarão marinho foi benéfica ao meio ambiente, causando impactos ambientais menores que os demais sistemas avaliados.

Apesar da influência positiva dos probióticos e dos bioflocos em incrementar sustentabilidade, essa intervenção não foi o suficiente para classificar os sistemas como sustentáveis. Sendo necessária a implementação de outras medidas como reaproveitamento de matéria orgânica para atividades secundárias, manejo adequado do solo, redução de consumo de água e aplicação de produtos químicos de forma moderada. Os resultados obtidos sugerem que além da aplicação eficiente dos probióticos e bioflocos sejam adotadas: medidas de controle e gestão evitar a intensificação desordenada da carcinicultura; monitoramento da qualidade microbiológica da água e dos camarões; aproveitamento da matéria orgânica para atividades agrícolas secundárias; implementação de planos de análise de pontos críticos de controle com o estudo de fatores exógenos, como pós-larvas, ração etc; e políticas públicas que possibilitem a reinserção da carcinicultura brasileira em mercados globais.

## REFERÊNCIAS

- ABCC – Associação Brasileira de Criadores de Camarão. **Censo da carcinicultura do litoral sul do estado do Ceará e zonas interioranas adjacentes 2015/2016**. Natal: ABCC, 2017. 56 p.
- ABDOLLAHI-ARPANAHI, D. *et al.* Efficacy of two commercial and indigenous probiotics, *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* on growth performance, immuno-physiology and resistance response of juvenile white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). **Aquaculture**, v. 496, p. 43-49, 2018.
- AKINSEMOLU, A. A. The role of microorganisms in achieving the sustainable development goals. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 139-155, 2018.
- ANDREWS, W. H. *et al.* Chapter 5 - *Salmonella*. In: FDA - Food and Drug Administration, **Bacteriological analytical manual on line**. Jul., 2009. Disponível em: [www.fda.gov/food/foodscienceresearch/laboratorymethods/ucm070149.htm](http://www.fda.gov/food/foodscienceresearch/laboratorymethods/ucm070149.htm). Acesso em: 29 ago. 2018.
- ANVISA – Agência Nacional de Saúde. Resolução 12, de 02 de janeiro de 2001. Dispõe sobre os princípios gerais para o estabelecimento de critérios e padrões microbiológicos para alimentos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03/01/2001. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/anexos/anexos\\_res0012\\_02\\_01\\_2001.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2001/anexos/anexos_res0012_02_01_2001.pdf). Acesso em: 17 dez. 2017.
- ARAÚJO, M. A. D.; OKINO, M. Y. F. Qualidade dos empregos da carcinicultura na praia de Barreta/RN. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 140-156, 2009.
- ASCHENBROICH, A. *et al.* Spatio-temporal variations in the composition of organic matter in surface sediments of a mangrove receiving shrimp farm effluents (New Caledonia). **Science of the Total Environment**, v. 512, p. 296-307, 2015.
- BALACEANU, C.; APOSTOL, D. The perspective of concept sustainability. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 116, p. 2257-2261, 2014.
- BASTIANONI, S. Use of thermodynamic orientors to assess the efficiency of ecosystems: a case study in the Lagoon of Venice. **The Scientific World Journal**, v. 2, p. 255-260, 2002.
- BENTZON-TILIA, M.; SONNENSCHNEIN, E. C.; GRAM, L. Monitoring and managing microbes in aquaculture: Towards a sustainable industry. **Microbial biotechnology**, v. 9, n. 5, p. 576-584, 2016.
- BERRY, E. M. *et al.* Food security and sustainability: can one exist without the other? **Public Health Nutrition**, v. 18, n. 13, p. 2293-2302, 2015.
- BLAHA, F. *et al.* Legislação do pescado. In: GONÇALVES, A. A. (Ed.) **Tecnologia do pescado: Ciência, tecnologia, inovação e legislação**. São Paulo: Editora Atheneu, 2011. p. 525-530.
- BLANCHARD, J. L. *et al.* Linked sustainability challenges and trade-offs among fisheries, aquaculture and agriculture. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 9, p. 1240-1249, 2017.

- BLODGETT, R. Appendix 2: Most Probable Number from Serial Dilutions. *In: FDA - Food and Drug Administration. **Bacteriological analytical manual on line**. 2010. Disponível em: <https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm109656.htm>. Acesso em: 17 dez. 2017.*
- BOSSIER, P. *et al.* Microbial community management in aquaculture. **Procedia Food Science**, v. 6, p. 37-39, 2016.
- BOSSIER, P.; EKASARI, J. Biofloc technology application in aquaculture to support sustainable development goals. **Microbial Biotechnology**, v. 10, n. 5, p. 1012-1016, 2017.
- BRASIL. Ministério da Fazenda. **Taxas de câmbio, incluindo valor do dólar, para fins fiscais**. 2018. Disponível em: [idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/tributaria/declaracoes-e-demonstrativos/ecf-escrituracao-contabil-fiscal/taxas-de-cambio-incluindo-valor-do-dolar-para-fins-fiscais-irpj-AC-anteriores](http://idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/tributaria/declaracoes-e-demonstrativos/ecf-escrituracao-contabil-fiscal/taxas-de-cambio-incluindo-valor-do-dolar-para-fins-fiscais-irpj-AC-anteriores). Acesso em: 26 set. 2018.
- BRASIL. Infográfico produção de peixes no Brasil. **Portal Brasil**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2017/01/producao-de-peixes-no-brasil-cresce-com-apoio-de-pesquisas-da-embrapa>. Acesso em: 07 mai. 2017.
- BRASIL. Ministério da saúde. **Manual técnico de diagnóstico laboratorial de Salmonella spp.** Brasília: Ministério da Saúde, 2011. 60 p.
- BRITO, C. *et al.* Microbiological quality of *Litopenaeus vannamei* culture using conventional and biofloc systems. **Aquaculture Research**, v. 47, n. 10, p. 3098-3108, 2016.
- BROWDY, C. L. *et al.* Chapter 12 - Biofloc-based aquaculture systems. *In: TIDWELL, J. (Ed.) **Aquaculture production systems***, Oxford: Wiley-Blackwell, 2012. p. 278-307.
- BROWN, M. T. *et al.* **Emergy analysis perspective, public policy options and development guidelines for the coastal zone of Nayarit, Mexico**. Gainesville: University of Florida, v. 2, 1992. 220 p.
- BROWN, M. T.; ULGIATI, S. Emergy Analysis and Environmental Accounting. *In: CLEVELAND, C. J. (Ed.) **Encyclopedia of energy***. Nova Iorque: Elsevier, 2004. p. 329-354.
- BUSH, S. R. *et al.* Scenarios for resilient shrimp aquaculture in tropical coastal areas. **Ecology and Society**, v. 15, n. 2, p. 1-17, 2010.
- CASTEX, M. *et al.* Effect of dietary probiotic *Pediococcus acidilactici* on antioxidant defences and oxidative stress status of shrimp *Litopenaeus stylirostris*. **Aquaculture**, v. 294, n. 3, p. 306-313, 2009.
- CAVALETT, O.; QUEIROZ, J. F.; ORTEGA, E. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the south Brazil. **Ecological Modelling**, v. 193, n. 3, p. 205-224, 2006.
- CHENG, H. *et al.* Emergy evaluation of cropping, poultry rearing, and fish raising systems in the drawdown zone of Three Gorges Reservoir of China. **Journal of Cleaner Production**, v. 144, p. 559-571, 2017.

CHOI, M. *et al.* Strain and dose infectivity of *Vibrio parahaemolyticus*: The causative agent of early mortality syndrome in shrimp. **Aquaculture Research**, v. 48, n. 7, p. 3719-3727, 2017.

COMAR, V.; ORTEGA, E. Resultados preliminares da comparação dos índices emergéticos de onze fazendas do município de Pardinho/SP, Brasil. *In*: ORTEGA, E. (Ed.) **Engenharia ecológica e agricultura sustentável**: Uma introdução à metodologia emergética. Campinas: FEA/UNICAMP, 2003. p. 126-141.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 274, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25/01/2001. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272>. Acesso em: 27 jan. 2018.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18/03/2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 17 dez. 2017.

CONWAY, P. L. Microbial ecology of the human large intestine. *In*: GIBSON, G. R. *et al* (Ed.). **Human colonic bacteria**: Role in nutrition, physiology, and pathology. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 1-24.

COSTA, R. A. *et al.* Antibiotic-resistant Vibrios in farmed shrimp. **BioMed Research International**, v. 2015, p. 1-5, 2015.

COSTA, R. A. *et al.* Quantification and distribution of *Vibrio* species in water from an estuary in Ceará-Brazil impacted by shrimp farming. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. 3, p. 183-188, 2010.

COSTA, R. A. *et al.* *Vibrio* em amostras de água de viveiros de cultivo do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, no Ceará-Brasil. **Atlântica (Rio Grande)**, v. 31, n. 2, p. 177-182, 2009.

CRAB, R. *et al.* Biofloc technology in aquaculture: beneficial effects and future challenges. **Aquaculture**, v. 356, p. 351-356, 2012.

D'ABRAMO, L. Meeting future food security needs using sustainable production practices: considerations for aquaculture research. **World Aquaculture**, v. 46, n. 1, p. 21-24, 2015.

DALSGAARD, A. *et al.* Prevalence of *Vibrio cholerae* and *Salmonella* in a major shrimp production area in Thailand. **International Journal of Food Microbiology**, v. 28, n. 1, p. 101-113, 1995.

DAUDA, A. B. *et al.* Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems. **Aquaculture and Fisheries**, 2018. No prelo.

DAWOOD, M. A. O. *et al.* Probiotic application for sustainable aquaculture. **Reviews in Aquaculture**, v. 10, p. 1-18, 2018.

DABADÉ, D. S. *et al.* Spoilage evaluation, shelf-life prediction, and potential spoilage organisms of tropical brackish water shrimp (*Penaeus notialis*) at different storage temperatures. **Food microbiology**, v. 48, p. 8-16, 2015.

ELTAWIL, M. A.; ELSBAAY, A. M. Utilization of solar photovoltaic pumping for aeration systems in aquaculture ponds. **International Journal of Sustainable Energy**, v. 35, n. 7, p. 629-644, 2016.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of world fisheries and aquaculture 2016**: Contributing to food security and nutrition for all. Roma: FAO, 2016. 200 p.

FARIDULLAH, M.; ROY, V. C.; LITHI, U. J. Prevalence of *Salmonella* and *Escherichia coli* contamination in shrimp (*Penaeus monodon*) farms, depots and processing plants in different areas of Bangladesh. **Asian Journal of Medical and Biological Research**, v. 2, n. 2, p. 171-176, 2016.

FENG, P. *et al.* Chapter 4 - Enumeration of *Escherichia coli* and the coliform bacteria. In: FDA - Food and Drug Administration. **Bacteriological analytical manual on line**. 2002. Disponível em: <https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm064948.htm>. Acesso em: 17 dez. 2017.

FERREIRA, G. S. *et al.* Microbial biofloc as source of probiotic bacteria for the culture of *Litopenaeus vannamei*. **Aquaculture**, v. 448, p. 273-279, 2015.

FERREIRA, J. M. L. *et al.* Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas. **Informe Agropecuário**, v. 33, n. 271, p. 12-25, 2012.

FERREIRA, M. G. P. *et al.* Bioremediation and biocontrol of commercial probiotic in marine shrimp culture with biofloc. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 45, n. 1, p. 167-176, 2017.

FIALHO, R. C. J. *et al.* Ocorrência de enterobactérias em sistemas de carcinicultura marinha do litoral do Piauí, Brasil. **Brazilian Journal of Veterinary Medicine**, v. 36, n. 1, p. 60-64, 2014.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. *et al.* Impactos ambientais da carcinicultura de águas interiores. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 231-240, 2006.

FIGUEREDO, F. V. *et al.* Isolamento de *Salmonella* resistente a antimicrobianos em duas regiões estuarinas do estado do Ceará, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 48, n. 2, p. 49-56, 2015.

FREITAS, U. *et al.* Influence of shrimp cultivation on the benthic metabolism and water quality. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 293-301, 2008.

FRÓES, C. N. *et al.* Fertilização orgânica com carbono no cultivo intensivo em viveiros com sistema de bioflocos do camarão branco *Litopenaeus vannamei*. **Atlântica (Rio Grande)**, v. 34, n. 1, p. 31-39, 2012.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Calendário das Chuvas no Estado do Ceará**. 2018. Disponível em: <http://www.funcceme.br/index.php/areas/23-monitoramento/meteorologico/406-chuvas-diarias>. Acesso em: 30 set. 2018.

GARCIA, F. *et al.* Emergy assessment of tilapia cage farming in a hydroelectric reservoir. **Ecological Engineering**, v. 68, p. 72-79, 2014.

GESTEIRA, T. C. V.; PAIVA, M. P. Impactos ambientais dos cultivos de camarões marinhos no Nordeste do Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 36, n. 1-2, p. 23-28, 2003.

GODFRAY, H. C. J. *et al.* Food security: The challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.

GOPAL, S. *et al.* The occurrence of *Vibrio* species in tropical shrimp culture environments; implications for food safety. **International Journal of Food Microbiology**, v. 102, n. 2, p. 151-159, 2005.

GRAZIANI, C. *et al.* Chapter 5 – *Salmonella*. In: DODD, C. E. R.; ALDSWORTH, T. G.; STEIN, R. A. (Ed.). **Foodborne diseases**. Cambridge: Academic Press, ed. 3, 2017. p. 133-169.

GRIGORAKIS, K.; RIGOS, G. Aquaculture effects on environmental and public welfare: The case of Mediterranean mariculture. **Chemosphere**, v. 85, n. 6, p. 899-919, 2011.

HAMILTON, K. A. *et al.* *Salmonella* risks due to consumption of aquaculture-produced shrimp. **Microbial Risk Analysis**, v. 9, p. 22-32, 2018.

HAQUE, M. M. *et al.* Reuse of fish pond sediments as fertilizer for fodder grass production in Bangladesh: Potential for sustainable intensification and improved nutrition. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 216, p. 226-236, 2016.

HARGREAVES, J. A. **Biofloc production systems for aquaculture**. Stoneville: Southern Regional Aquaculture Center, n. 4503, 2013. 12 p.

HATJE, V. *et al.* Detection of environmental impacts of shrimp farming through multiple lines of evidence. **Environmental Pollution**, v. 219, p. 672-684, 2016.

HERNANDEZ, L. H. *et al.* Effects of the commercial probiotic *Lactobacillus casei* on the growth, protein content of skin mucus and stress resistance of juveniles of the Porthole livebearer *Poecilopsis gracilis* (Poeciliidae). **Aquaculture Nutrition**, v. 16, n. 4, p. 407-411, 2010.

HOLMSTRÖM, K. *et al.* Antibiotic use in shrimp farming and implications for environmental impacts and human health. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 38, n. 3, p. 255-266, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da Pecuária Municipal 2017. **Produção da Pecuária Municipal**, v. 45, n. 2, p. 1-9, 2017.

ICMSF – International Commission on Microbiological Specifications for Foods.

**Microorganisms in foods 2 - Sampling for microbiological analysis:** Principles and specific applications. Oxford : Blackwell Scientific Publications, ed. 2, 1986. 293 p.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações automáticas.** 2018. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>. Acesso em: 04 out. 2018.

ISLAM, S. M. D.; BHUIYAN, M. A. H. Impact scenarios of shrimp farming in coastal region of Bangladesh: An approach of an ecological model for sustainable management. **Aquaculture International**, v. 24, n. 4, p. 1163-1190, 2016.

JENKINS, C. *et al.* Enterobacteriaceae. *In:* COHEN, J., P., W. G.; OPAL, S. M. (Ed.). **Infectious diseases.** Cambridge: Elsevier, ed. 4, v. 2, 2017. p. 1565-1578.

JONES, J. L. *Vibrio.* *In:* DODD, C. E .R.; ALDSWORTH, T. G.; STEIN, R. A. (Ed.). **Foodborne diseases.** Cambridge: Academic Press, ed. 3, 2017. p. 243–252.

KAYSNER, C. A.; DEPAOLA, A. Chapter 9 - *Vibrio.* *In:* FDA - Food and Drug Administration. **Bacteriological analytical manual on line.** 2004. Disponível em: <https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm070830.htm>. Acesso em: 17 dez. 2017.

KIMPARA, J. M.; ZADJBAND, A. D.; VALENTI, W. C. **Métodos para medir a sustentabilidade na aquicultura.** Teresina: Embrapa Meio Norte, 2012. 72 p.

KONGNUM, K.; HONGPATTARAKERE, T. Effect of *Lactobacillus plantarum* isolated from digestive tract of wild shrimp on growth and survival of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) challenged with *Vibrio harveyi*. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 32, n. 1, p. 170-177, 2012.

KOONSE, B. *et al.* *Salmonella* and the sanitary quality of aquacultured shrimp. **Journal of Food Protection**, v. 68, n. 12, p. 2527-2532, 2005.

KRUMMENAUER, D. *et al.* Cultivo de camarões marinhos em sistema de bioflocos: Análise da reutilização da água. **Atlântica**, v.34, n. 2, p. 103-111, 2012.

KRUMMENAUER, D. *et al.* Superintensive culture of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, in a biofloc technology system in southern Brazil at different stocking densities. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 42, n. 5, p. 726-733, 2011.

LEBEL, L.; LEBEL, P.; CHUAH, C. J. Governance of aquaculture water use. **International Journal of Water Resources Development**, p. 1-23, 2018.

LEKSHMY, S. *et al.* Incidence of *Escherichia coli* in extensive shrimp culture systems of Kerala. **Indian Journal of Scientific Research**, v. 9, n. 1, p. 117-126, 2014.

LI, L. *et al.* Emergy evaluations of three aquaculture systems on wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 2, p. 526-534, 2011.

LILLY, D. M.; STILLWELL, R. H. Probiotics: growth-promoting factors produced by microorganisms. **Science**, v. 147, n. 3659, p. 747-748, 1965.

- LIMA, J. S. G.; RIVERA, E. C.; FOCKEN, U. Emergy evaluation of organic and conventional marine shrimp farms in Guaraira Lagoon, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 35, p. 194-202, 2012.
- LIU, G. *et al.* Effects of stocking density of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) on immunities, antioxidant status, and resistance against *Vibrio harveyi* in a biofloc system. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 67, p. 19-26, 2017.
- LIU, X. *et al.* An ecological engineering pond aquaculture recirculating system for effluent purification and water quality control. **Clean, Soil, Air, Water**, v. 42, n. 3, p. 221-228, 2014.
- MARINHO JUNIOR, M.; FONTELES FILHO, A. A. Crescimento do camarão-cinza, *Litopenaeus vannamei*, sob um sistema de cultivo intensivo. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 43, n. 1, p. 12-17, 2010.
- MARTÍNEZ CRUZ P. *et al.* Use of Probiotics in Aquaculture. **ISRN Microbiology**. v. 2012, p. 1-13, 2012.
- MATOS, E. *et al.* Sustainability vs. quality in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) farming: Are trade-offs inevitable? **Reviews in Aquaculture**, v. 9, p. 388-409, 2016.
- MATURIN, L.; PEELER, J. T. Chapter 3 – Aerobic Plate count. *In*: FDA - Food and Drug Administration. **Bacteriological analytical manual on line**. 2001. Disponível em: <https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm063346.htm>. Acesso em: 17 dez. 2017.
- MELO, F. P. *et al.* Cultivo do camarão marinho com bioflocos sob diferentes níveis de proteína com e sem probiótico. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 202-210, 2015.
- MENDES, E. S. *et al.* *Vibrio* spp. Isolados de camarão e água de cultivo de fazenda marinha em Pernambuco. **Ciência Animal Brasileira**, v. 10, n. 4, p. 1191-1199, 2009.
- MITSCH, W. J. What is ecological engineering? **Ecological Engineering**, v. 45, p. 5-12, 2012.
- MOHAPATRA, S. *et al.* Aquaculture and stress management: a review of probiotic intervention. **Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition**, v. 97, n. 3, p. 405-430, 2013.
- MORIARTY, D. J. W. Control of luminous *Vibrio* species in penaeid aquaculture ponds. **Aquaculture**, v. 164, n. 1, p. 351-358, 1998.
- MPA – Ministério da Pesca e Aquicultura. **Boletim estatístico da pesca e aquicultura 2011**. Brasília: MPA, 2011. 60 p.
- MUJEEB RAHIMAN, K. M. *et al.* Probiotic effect of *Bacillus* NL110 and *Vibrio* NE17 on the survival, growth performance and immune response of *Macrobrachium rosenbergii* (De Man). **Aquaculture Research**, v. 41, n. 9, p. 120-134, 2010.
- MURATORI, M. C. S. *et al.* *Vibrio parahaemolyticus* em carcinicultura marinha. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 15, n. 2, p. 289-296, 2014.

NINAWA, A. S.; SELVIN, J. Probiotics in shrimp aquaculture: avenues and challenges. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 35, n. 1, p. 43-66, 2009.

NOGUEROLA, I.; BLANCH, A. R. Identification of *Vibrio* spp. with a set of dichotomous keys. **Journal of Applied Microbiology**, v. 105, n. 1, p. 175-185, 2008.

ODUM, H. T. **Emergy evaluation of salmon pen culture**. Gainesville: Center for Environmental Policy - University of Florida, 2001. 8 p.

ODUM, H. T. **Handbook of emergy evaluation folio 2: Emergy of Global Processes**. Gainesville: Center for Environmental Policy - University of Florida, 2000. 30p.

ODUM, H. T. **Environmental accounting: Emergy and environmental decision making**. New York: John Wiley & Sons, 1996. 384p.

ODUM, H. T.; ARDING, J. E. **Emergy analysis of shrimp mariculture in Ecuador**. Gainesville: Center for Environmental Policy - University of Florida, 1991. 114 p.

ORTEGA, E. Engenharia ecológica: Conceitos básicos e importância do trabalho de H. T. Odum. In: ORTEGA, E. (Ed.) **Engenharia ecológica e agricultura sustentável: Uma introdução à metodologia emergética**. Campinas: FEA/UNICAMP, 2003. p. 10-26.

ORTEGA, E. **Tabela de transformidades (emergia/Joule, emergia/kg, emergia/US\$) de recursos naturais, insumos industriais e produtos de ecossistemas**. [sl]:[sn], 1998. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm>. Acesso em: 27 jan. 2018.

PÁEZ-OSUNA, F. The environmental impact of shrimp aquaculture: Causes, effects, and mitigating alternatives. **Environmental Management**, v. 28, n. 1, p. 131-140, 2001.

PARENTE, L. S. *et al.* Bactérias entéricas presentes em amostras de água e camarão marinho *Litopenaeus vannamei* oriundos de fazendas de cultivo no Estado do Ceará, Brasil. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 48, n. 1, p. 46-53, 2011.

PEREIRA, M. A. *et al.* Microbiological quality of oysters (*Crassostrea gigas*) produced and commercialized in the coastal region of Florianópolis - Brazil. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 37, n. 2, p. 159-163, 2006.

PETROBRAS. **Relacionamento com os investidores: Formulas de conversão**. 2014. Disponível em: <http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/destaques-operacionais/formulas-de-conversao>. Acesso em: 29 jan. 2018.

QUEIROZ, L. *et al.* Shrimp aquaculture in the federal state of Ceará, 1970-2012: Trends after mangrove forest privatization in Brazil. **Ocean & Coastal Management**, v. 73, p. 54-62, 2013.

RAMÍREZ, N. B. *et al.* Dieta suplementada com prebiótico, probiótico e simbiótico no cultivo de camarões marinhos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 8, p. 913-919, 2013.

RASZL, S. M. *et al.* *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus* in South America: Water, Seafood, and Human Infections. **Journal of Applied Microbiology**, v. 121, n. 5, p. 1201-1222, 2016.

REBOUÇAS, R. H. *et al.* *Vibrio* spp. como patógenos na carcinicultura: Alternativas de controle. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 50, n. 1, p. 163-179, 2017.

REBOUÇAS, R. H. *et al.* Antimicrobial resistance profile of *Vibrio* species isolated from marine shrimp farming environments (*Litopenaeus vannamei*) at Ceará, Brazil. **Environmental Research**, v. 111, n. 1, p. 21-24, 2011.

REGO, M. A. S. *et al.* Financial viability of inserting the biofloc technology in a marine shrimp *Litopenaeus vannamei* farm: A case study in the state of Pernambuco, Brazil. **Aquaculture International**, v. 25, n. 1, p. 473-483, 2017a.

REGO, M. A. S. *et al.* Risk analysis of the insertion of biofloc technology in a marine shrimp *Litopenaeus vannamei* production in a farm in Pernambuco, Brazil: A case study. **Aquaculture**, v. 469, p. 67-71, 2017b.

RIBEIRO, L. F. *et al.* Desafios da carcinicultura: Aspectos legais, impactos ambientais e alternativas mitigadoras. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 14, n. 3, p. 365-383, 2014.

SAJALI, U. S. B. A. *et al.* Prophylactic properties of biofloc-or Nile tilapia-conditioned water against *Vibrio parahaemolyticus* infection of whiteleg shrimp (*Penaeus vannamei*). **Aquaculture**, v. 498, p. 496-502, 2019.

SHINOHARA, N. K. S. *et al.* *Salmonella* spp., importante agente patogênico veiculado em alimentos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 13, n. 5, p. 1675-1683 2008.

SHUBA, E. S.; KIFLE, D. Microalgae to biofuels: 'Promising' alternative and renewable energy, review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 743-755, 2018.

SIHAG, R. C.; SHARMA, P. Probiotics: The new ecofriendly alternative measures of disease control for sustainable aquaculture. **Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v. 7, n. 2, p. 72-103, 2012.

SILVA, E. *et al.* Influência da densidade de estocagem no desempenho zootécnico de *Litopenaeus vannamei* durante a fase de berçário em sistema de bioflocos. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 41, p. 777-783, 2016.

SMITH, J. L.; FRATAMICO, P. M. Chapter 7 - *Escherichia coli* as a pathogen. In: DODD, C. E. R.; ALDSWORTH, T. G.; STEIN, R.A. (Ed.). **Foodborne diseases**. Cambridge: Academic Press, ed. 3, 2017. p. 189-208.

SUBASINGHE, R.; SOTO, D.; JIA, J. Global aquaculture and its role in sustainable development. **Reviews in Aquaculture**, v. 1, n. 1, p. 2-9, 2009.

TACON, A. G. J. *et al.* Effect of culture system no the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. **Aquaculture Nutrition**, v. 8, n. 2, p. 121-137, 2002.

- TAHIM, E. F. *et al.* A carcinicultura do nordeste brasileiro e sua inserção em cadeias globais de produção: Foco nos APLs do Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 52, n. 3, p. 567-586, 2014.
- TAYLOR, M. H.; KLUGER, L. C. Aqua-and Mariculture Management: A holistic perspective on best practices. *In*: SALOMON, M.; MARKUS, T. **Handbook on marine environment protection**. Cham: Springer, 2018. p. 659-682.
- VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade**: Uma análise comparativa. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005. 253 p.
- VALENTI, W. C. *et al.* Indicators of sustainability to assess aquaculture systems. **Ecological Indicators**, v. 88, p. 402-413, 2018.
- VASSALLO, P. C. *et al.* Emergy analysis for the environmental sustainability of an inshore fish farming system. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 2, p. 290-298, 2007.
- VIEIRA, R. H. S. F.; TORRES, R. C. O. Estimativa da população de *Vibrio parahaemolyticus* através do número mais provável (NMP). *In*: VIEIRA, R. H. S. F. (Ed.). **Microbiologia, higiene e qualidade do pescado**: Manual e prática. São Paulo: Livraria Varela, 2004a. p. 253-264.
- VIEIRA, R. H. S. F.; TORRES, R. C. O. Pesquisa de *Salmonella*. *In*: VIEIRA, R. H. S. F. (Ed.). **Microbiologia, higiene e qualidade do pescado**: Manual e prática. São Paulo; Livraria Varela, 2004b. p. 235-244.
- VIEIRA, R. H. S. F. *et al.* *Vibrio* spp. e suas implicações sobre larviculturas de camarões marinhos. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 33, n. 1-2, p. 107-112, 2000.
- VIEIRA, F. N. *et al.* Use of probiotic-supplemented diet on a Pacific white shrimp farm. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 5, p. 203-207, 2016.
- WANG, G. *et al.* Sustainability evaluation of different systems for sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) farming based on emergy theory. **Journal of Ocean University of China**, v. 14, n. 3, p. 503-510, 2015.
- WANG, Y.; LI, J. R.; LIN, J. Probiotics in aquaculture: Challenges and outlook. **Aquaculture**, v. 281, n. 1, p. 1-4, 2008.
- WANG, Y. *et al.* Multiple-strain probiotics appear to be more effective in improving the growth performance and health status of white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, than single probiotic strains. **Fish & Shellfish Immunology**, v. 84, p. 1050-1058, 2019.
- WILFART, A. *et al.* LCA and emergy accounting of aquaculture systems: Towards ecological intensification. **Journal of Environmental Management**, v. 121, p. 96-109, 2013.
- WILLIAMSON, T. R.; TILLEY, D. R.; CAMPBELL, E. Emergy analysis to evaluate the sustainability of two oyster aquaculture systems in the Chesapeake Bay. **Ecological Engineering**, v. 85, p. 103-120, 2015.
- WU, X. F. *et al.* Ecological accounting for an integrated “pig–biogas–fish” system based on emergent indicators. **Ecological Indicators**, v. 47, p. 189-197, 2014.

ZHANG, L. X. *et al.* Emergy evaluation and economic analysis of three wetland fish farming systems in Nansi Lake area, China. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 3, p. 683-694, 2011.

ZHIFANG, S. Water albedo of fish pond in northwest shandong province. **Journal of Lake Science**, v. 3, p. 1-4, 1996.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

### DADOS ENTREVISTADO

Nome da propriedade:

Município:

Data:

Entrevistado:

### DADOS EMPREENDIMENTO

Modalidade de cultivo: CARCINICULTURA

Qual densidade de estocagem:

Custo do milheiro de Pós-Larvas:

Tamanho da PL:

Qual foi o capital aplicado para construção do empreendimento:

Ano da implantação:

Espécie cultivada: Camarão do pacífico – *Litopenaeus vannamei*

Outros? Se sim, qual (is)?

Produtividade por ciclo?

Preço médio de comercialização?

### APLICAÇÃO DE PROBIÓTICOS

Faz uso de probióticos (    ) Sim (    ) Não

Marca:

Qual custo por ciclo/ha?

Qual quantidade aplicada por hectare?

Qual frequência da aplicação por mês?

Qual o seu objetivo com a aplicação dessa biotecnologia?

### USO DE BIOFLOCOS

Faz uso de bioflocos (    ) Sim (    ) Não

Qual custo de manutenção C/N por ciclo?

Qual relação C/N aplicada por viveiro?

Qual frequência da aplicação de uma fonte de carbono por ciclo?

Qual o seu objetivo com a aplicação dessa biotecnologia?

### ÁREA PRODUTIVA

Qual o tamanho da propriedade em que o empreendimento está implementado?

Qual o tamanho da área produtiva do empreendimento?

São realizados quantos ciclos por ano?

Quantidade de viveiros/tanques?

Tempo do ciclo produtivo em dias?

Profundidade média da lâmina d'água dos viveiros em metros?

[Bioflocos] Qual volume dos tanques suspensos?

### ENERGIA ELÉTRICA

Qual consumo total de energia por mês?

Qual consumo de energia de KWh/mês?

Faz uso de aeradores? ( ) Sim ( ) Não

Quantos?

Qual potência média dos aeradores?

Em quanto tempo de vida útil deste equipamento?

Quanto cada equipamento custou?

### EQUIPAMENTOS ESSENCIAIS A PRODUÇÃO

Liste os equipamentos considerados essenciais a produção, quantidade, tempo de vida útil e valor do equipamento (Caso haja mais equipamentos considerados essenciais a produção, acrescentar).

EQUIPAMENTO	QNT	VIDA ÚTIL (anos)	VALOR
Balança			
Basqueta			
Barco/Caiaque			
Oxímetro			
pHmetro			
Sonda multiparametro			
Refratômetro			
Microscópio			
Bombas			
Infusores			
Aeradores			
Alimentadores			
Gerador de energia			

### FERTILIZANTES E PRODUTOS QUÍMICOS OU ORGÂNICOS

Liste os produtos essenciais a produção, frequência de uso, marca e quantidade administrada por hectare.

PRODUTO	MARCA/ COMPOSIÇÃO	FREQUÊNCIA DE USO	USO POR HECTARE	CUSTO POR CICLO
Fertilizante orgânico				
Fertilizante químico				
Promotor de crescimento				
Calcário agrícola				
Adubo				

### CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

Faz uso de combustível para realizar a atividade? ( x ) Sim ( ) Não

COMBUSTÍVEL	EM QUAL ATIVIDADE?	CUSTO MENSAL
Gasolina		
Diesel		

### ALIMENTAÇÃO

Qual custo com ração por ciclo?

Qual quantidade ração é utilizada por ciclo?

Quantas alimentações diárias são feitas?

Qual a marca da ração utilizada?

Quantidade de Proteína Bruta (%)?

A alimentação é feita apenas com ração? ( ) Sim ( ) Não

Se, não! Quais são os aditivos a alimentação e qual custo disso por ciclo?

### MÃO DE OBRA

Quantas pessoas trabalham na propriedade?

Liste a mão de obra, quantidade, custo e se o funcionário é fixo ou variável (trabalha apenas na despesa ou faz serviços esporádicos).

MÃO DE OBRA	QNT	CUSTO MENSAL	FIXO OU TEMPORÁRIO	DIAS TRABALHADOS POR CICLO

**IMPOSTOS E TAXAS**

Qual custo com impostos e taxas gastos por ano? R\$ \_\_\_\_\_

**MERCADO CONSUMIDOR**

Qual o mercado consumidor do camarão produzido (restaurantes, indústria beneficiamento e etc)?

## APÊNDICE B – MEMÓRIA DE CÁLCULO

Memória de cálculo da Tabela 2, p. 36.

Nota	Item	Dado não tratado	Und.	Referência
1	Radiação solar	Área x insolação x (1 - albedo)	J/há	INMET, 2018  Zhifang, 1996
		Área	1E+04	
		Insolação	680,009	
		Conversão	1000	
		Albedo	17	
	Energia calculada	5,64E+09	J/ha	
2	Chuva	Área x Pluviosidade x Densidade da chuva x Energia livre de Gibbs	J/ha	FUNCEME, 2018  Lima, Rivera e Focken 2012
		Área	1E+04	
		Pluviosidade	1,4328	
		Densidade da chuva	1000	
		Energia livre de Gibbs	4,94E+03	
	Energia calculada	7,08E+10	J/ha	
3	Ventos	(Velocidade do ar) <sup>3</sup> x Densidade do ar x Coeficiente Drag x Tempo	J/ha	INMET, 2018 Lima, Rivera e Focken 2012  Dados de campo
		Velocidade do ar	6,48	
		Densidade do ar	1,3 E+00	
		Coeficiente de Drag	1,00E-03	
		Tempo de cultivo	2,92E+07	
	Energia calculada	1,03E+07	J/ha	
4	Probiótico	Consumo	g/ha	
		Energia	1,44E+04	g/ha
5	Prebiótico (farelo de arroz)	Consumo	g/ha	
		Energia	1,56E+05	g/ha
6	Água	(Consumo de água + Taxa de reposição) x Conversão kg/m <sup>3</sup> x Energia livre de Gibbs / Área	J/ha	Dados de campo Evapotranspiração - Chuva  Lima, Rivera e Focken 2012
		Área	385	
		Consumo de água	2,6E+07	
		Taxa de reposição	8,72	
		Densidade da água	1,0E+03	
	Energia livre de Gibbs	4,94E+03	J/kg	
	Energia calculada	3,63E+11	J/ha	
7	Densidade estocagem	Densidade x peso PL x Conversão kJ/g x Conversão J/kJ x Área	J	Dados de campo
		Densidade	10	
		Peso PL	0,003	

		Conversão kJ/g	1,87E-03	kJ/g	
		Conversão J/kJ	1,0E+03	J/kJ	
		Área	1,0E+04	m <sup>2</sup>	
		Energia calculada	5,61E+02	J/ha	
8	Aerador 2cv	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	300		
		Valor do equipamento	2.500,00	R\$	Dados de campo
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	385	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	5	ano	Dados de campo
		Energia calculada	1,20E+03	US\$/ha	
9	Balança	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	10		
		Valor do equipamento	1200	R\$	Dados de campo
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	385	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	2	ano	
		Energia calculada	4,75	US\$/ha	
10	Caiaque	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	10		
		Valor do equipamento	1200	R\$	Dados de campo
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	385	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	5	ano	
		Energia calculada	1,14E+01	US\$/ha	
11	Oxímetro	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	3		
		Valor do equipamento	6500	R\$	Dados de campo
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	385	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	2	ano	
		Energia calculada	7,72E+00	US\$/ha	
12	Medidor de pH	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	2		Dados de campo

		Valor do equipamento	500	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	385	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	1	ano	
		Energia calculada	7,92E-01	US\$/ha	
13	Refratômetro	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	600	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	385	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	5	ano	
		Energia calculada	2,38E-01	US\$/ha	
14	Microscópio	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	1500	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	385	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	10	ano	
		Energia calculada	1,19E+01	US\$/ha	
15	Motor bomba	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	18		Dados de campo
		Valor do equipamento	80000	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	385	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	10	ano	
		Energia calculada	5,7E+01	US\$/ha	
16	Ração	Consumo		g/ha	
		Energia calculada	4,21E+06	g/ha	Dados de campo
17	Óxido de Cálcio	Consumo		g/ha	
		Energia calculada	1,E+06	g/ha	Dados de campo
18	Energia elétrica	Demanda energética x Conversão J/kWh		J	
		Demanda energética	4221,13	kWh/ha	Dados de campo
		Conversão J/kWh	3,6E+06	J/kWh	
		Energia calculada	6,17E+09	J/ha	
19	Diesel	Consumo x Poder calorífico x Conversão J/kcal		J	
		Consumo	68	L/ha	Dados de campo

		Poder calorífico	9,160	kcal/L	Petrobras, 2014
		Conversão	4,18E+03	J/kcal	
		Energia calculada	6,24E+02		
20	Gasolina	Consumo x Poder calorífico x Conversão J/kcal		J	
		Consumo	39	L/ha	Dados de campo
		Poder calorífico	8,325	kcal/L	Petrobras, 2014
		Conversão	4,18E+03	J/kcal	
		Energia calculada	3,28E+02		
21	Mão de obra	Dias de trabalho x Homens/ha x Gasto energético x Conversão		J	
		Homens/dia	22,20	Dias	Dados de campo
		Gasto energético	2500	kcal	
		Conversão	4,18E+03	J/kcal	
		Energia calculada	2,32E+08	J/ha	
22	Assistência técnica	Dias de trabalho x Homens/ha x Gasto energético x Conversão		J	
		Homens/dia	2,33	Dias	Dados de campo
		Gasto energético	2500	kcal	
		Conversão	4,18E+03	J/kcal	
		Energia calculada	2,45E+07	J/ha	
23	Aquisição do probiótico	Custo do probiótico x Cotação do dólar / Área		US\$	
		Custo do probiótico	54000	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305		BRASIL, 2018
		Área	1,9		
		Energia calculada	4,28E+01	US\$/ha	Dados de campo
23	Aquisição do prebiótico	Custo do probiótico x Cotação do dólar / Área		US\$	
		Custo do probiótico	270	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305		BRASIL, 2018
		Área	385		
		Energia calculada	2,14E-01	US\$/ha	Dados de campo
25	Camarão	Produção/ha x Conversão J/g		J	
		Produção/ha	3,11E+06	g/ha	Dados de campo
		Conversão J/g	2,24E+04	J/g	
		Energia calculada	6,98E+10	J/ha	

Memória de cálculo da Tabela 4, p. 39.

Nota	Item	Dado não tratado	Und.	Referência	
1	Radiação solar	Área x insolação x (1 - albedo)	J/ha	INMET, 2018  Zhifang, 1996	
		Área	1E+04		ha/m <sup>2</sup>
		Insolação	675,57		kJ/ m <sup>2</sup>
		Conversão	1000		J/kJ
		Albedo	17		%
	Energia calculada	5,61E+09	J/ha		
2	Chuva	Área x Pluviosidade x Densidade da chuva x Energia livre de Gibbs	J/ha	FUNCEME, 2018  Lima, Rivera e Focken 2012	
		Área	1E+04		ha/m <sup>2</sup>
		Pluviosidade	1,5598		m
		Densidade da chuva	1000		kg/m <sup>3</sup>
		Energia livre de Gibbs	4,94E+03		J/kg
	Energia calculada	7,71E+10	J/ha		
3	Ventos	(Velocidade do ar) <sup>3</sup> x Densidade do ar x Coeficiente Drag x Tempo	J/ha	INMET, 2018  Lima, Rivera e Focken 2012  Dados de campo	
		Velocidade do ar	6,5		m/s
		Densidade do ar	1,3		kg/m <sup>3</sup>
		Coeficiente de Drag	1,00E-03		
		Tempo de cultivo	2,59E+07		s
	Energia calculada	9,28E+06	J/ha		
4	Probiótico	Consumo	g/ha		
		Energia	4,29E+04	g/ha	
5	Água	(Consumo de água + Taxa de reposição) x Conversão kg/m <sup>3</sup> x Energia livre de Gibbs / Área	J/ha	Dados de campo  Evapotranspiração - Chuva  Lima, Rivera e Focken 2012	
		Área	1,9		ha
		Consumo de água	6,84E+04		m <sup>3</sup>
		Taxa de reposição	6,67		%
		Densidade da água	1,0E+03		kg/m <sup>3</sup>
	Energia livre de Gibbs	4,94E+03	J/kg		
	Energia calculada	1,90E+11	J/ha		
6	Densidade estocagem	Densidade x peso PL x Conversão kJ/g x Conversão J/kJ x Área	J	Dados de campo	
		Densidade	52,6		PL/ m <sup>2</sup>
		Peso PL	0,003		g
		Conversão kJ/g	1,87E-03		kJ/g
		Conversão J/kJ	1,0E+03		J/kJ
		Área	1,0E+04		m <sup>2</sup>
	Energia calculada	2,95E+03	J/ha		

7	Aerador 2cv	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento	US\$		
		Quantidade	22		
		Valor do equipamento	1.700,00	R\$	Dados de campo
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	1,9	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	5	ano	Dados de campo
		Energia calculada	1,20E+03	US\$/ha	
8	Balança	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento	US\$		
		Quantidade	4		
		Valor do equipamento	169,90	R\$	Dados de campo
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	1,9	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	5	ano	Dados de campo
		Energia calculada	2,18E+01	US\$/ha	
9	Caixas plásticas	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento	US\$		
		Quantidade	15		
		Valor do equipamento	19,50	R\$	Dados de campo
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	1,9	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	10	ano	Dados de campo
		Energia calculada	6,26E+00	US\$/ha	
10	Caiaque	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento	US\$		
		Quantidade	2		
		Valor do equipamento	679,00	R\$	Dados de campo
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	1,9	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	5	ano	Dados de campo
		Energia calculada	4,36E+01	US\$/ha	
11	Oxímetro	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento	US\$		
		Quantidade	1		
		Valor do equipamento	950,00	R\$	Dados de campo
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	1,9	ha	Dados de campo

		Tempo de vida	5	ano	
		Energia calculada	3,05E+01	US\$/ha	
12	Medidor de pH	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	198,00	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	1,9	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	5	ano	
		Energia calculada	6,36E+00	US\$/ha	
13	Refratômetro	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	232,00	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	1,9	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	5	ano	
		Energia calculada	7,45E+00	US\$/ha	
14	Microscópio	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	1.250,00	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	1,9	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	2	ano	
		Energia calculada	1,00E+02	US\$/ha	
15	Gerador 4cv	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	1.200,00	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	1,9	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	10	ano	
		Energia calculada	3,66E+01	US\$/ha	
16	Motor bomba	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	800,00	R\$	
		Cotação do dólar	0,305	US\$	BRASIL, 2018

		31/10/2017			
		Área	1,9	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	10	ano	
		Energia calculada	2,44E+01	US\$/ha	
17	Ração	Consumo		g/ha	
		Energia calculada	1,26E+07	g/ha	Dados de campo
18	Energia elétrica	Demanda energética x Conversão J/kWh		J	
		Demanda energética	46.654,6	kWh/ha	Dados de campo
		Conversão J/kWh	3,6E+06	J/kWh	
		Energia calculada	6,82E+10	J/ha	
19	Diesel	Consumo x Poder calorífico x Conversão J/kcal		J	
		Consumo	31,58	L/ha	Dados de campo
		Poder calorífico	9,160	kcal/L	Petrobras, 2014
		Conversão	4,18E+03	J/kcal	
		Energia calculada	1,21E+06		
20	Mão de obra	Dias de trabalho x Homens/ha x Gasto energético x Conversão		J	
		Homens/dia	157,89	Dias	Dados de campo
		Gasto energético	2500	kcal	
		Conversão	4,18E+03	J/kcal	
		Energia calculada	1,65E+09	J/ha	
21	Mão de obra temporária	Dias de trabalho x Homens/ha x Gasto energético x Conversão		J	
		Homens/dias	78,94	Dias	Dados de campo
		Gasto energético	2500	kcal	
		Conversão	4,18E+03	J/kcal	
		Energia calculada	8,26E+08	J/ha	
22	Assistência técnica	Dias de trabalho x Homens/ha x Gasto energético x Conversão		J	
		Homens/dia	52,63	dias	Dados de campo
		Gasto energético	2500	kcal	
		Conversão	4,18E+03	J/kcal	
		Energia calculada	5,51E+08	J/ha	
23	Aquisição do probiótico	Custo do probiótico x Cotação do dólar / Área		US\$	
		Custo do probiótico	12.000,00	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305		BRASIL, 2018
		Área	1,9		
		Energia calculada	1,93E+03	US\$/ha	Dados de campo
24	Outros serviços	Outros serviços/ha		US\$	
		Energia calculada	6,41E+02	US\$/ha	Dados de campo
25	Camarão	Produção/ha x Conversão J/g		J	
		Produção/ha	1,26E+07	g/ha	Dados de campo

Conversão J/g	2,24E+04	J/g
Energia calculada	2,83E+11	J/ha

Memória de cálculo da tabela 6, p. 41.

Nota	Item	Dado não tratado	Und.	Referência		
1	Radiação solar	Área x insolação x (1 - albedo)	J/ha	INMET, 2018		
		Área	1E+04		ha/m <sup>2</sup>	
		Insolação	810,898		kJ/ m <sup>2</sup>	
		Conversão	1000		J/kJ	
		Albedo	17		%	Zhifang, 1996
	Energia calculada	6,73E+09	J			
2	Probiótico	Consumo	g/ha			
		Energia	4,37E+04	g/ha		
3	Bioflocos	Densidade do bioflocos x Consumo de água / Área	g/ha			
		Densidade do bioflocos	0,36	kg/m <sup>3</sup>		
		Consumo de água	3.750	m <sup>3</sup>		
		Área	0,294	ha		
		Energia calculada	4,59E+06	g		
4	Água	Consumo de água x Conversão kg/m <sup>3</sup> x Energia livre de Gibbs / Área	J/ha	Dados de campo		
		Área	0,294		ha	
		Consumo de água	3.750		m <sup>3</sup>	
		Densidade da água	1,0E+03		kg/m <sup>3</sup>	
		Energia livre de Gibbs	4,94E+03		J/kg	Lima, Rivera e Focken 2012
		Energia calculada	6,3E+10		J	
5	Densidade estocagem	Densidade x peso PL x Conversão kJ/g x Conversão J/kJ x Área	J	Dados de campo		
		Densidade	408		PL/ m <sup>2</sup>	
		Peso PL	0,003		g	
		Conversão kJ/g	1,87E-03		kJ/g	
		Conversão J/kJ	1,0E+03		J/kJ	
		Área	1,0E+04		m <sup>2</sup>	
		Energia calculada	2,29E+04		J/ha	
6	Aerador 2cv	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento	US\$	Dados de campo		
		Quantidade	4			
		Valor do equipamento	2.000,00		R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305		US\$	BRASIL, 2018
		Área	0,294		ha	Dados de campo
		Tempo de vida	5		ano	Dados de campo

		Energia calculada	1,66E+03	US\$/ha	
7	Balança	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	1.200,00	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	0,294	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	5	ano	
		Energia calculada	2,49E+02	US\$/ha	
8	Oxímetro	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	1.500,00	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	0,294	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	2	ano	
		Energia calculada	7,78E+02	US\$/ha	
9	Medidor de pH	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	250,00	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	0,294	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	1	ano	
		Energia calculada	2,59E+02	US\$/ha	
10	Refratômetro	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	60	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	0,294	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	2	ano	
		Energia calculada	3,11E+01	US\$/ha	
11	Microscópio	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	3.000,00	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018

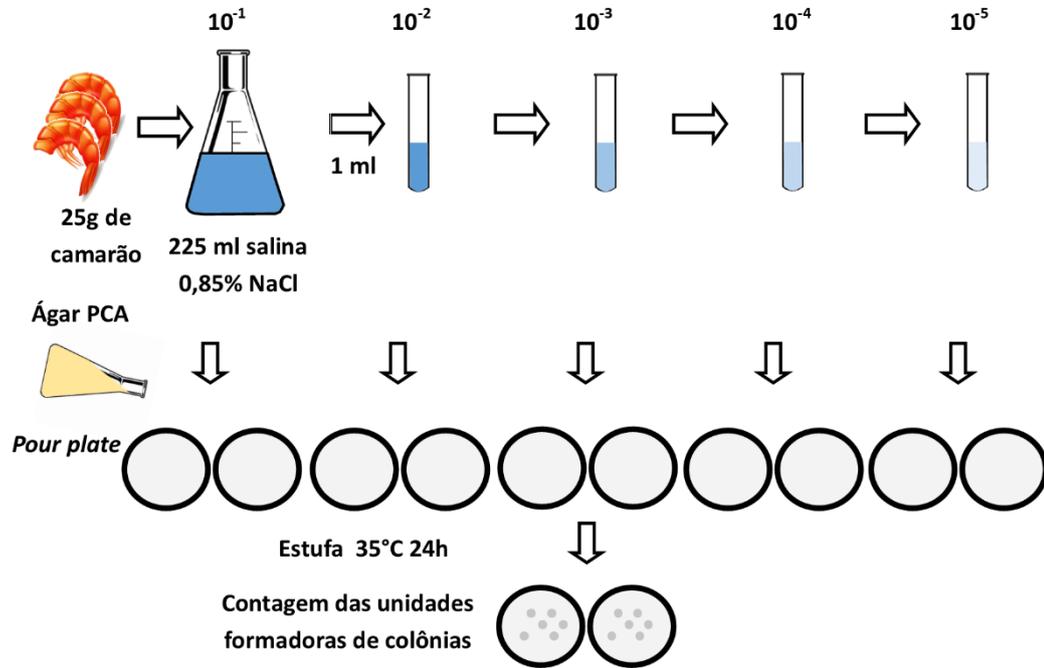
		Área	0,294	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	10	ano	
		Energia calculada	3,11E+02	US\$/ha	
12	Compressor	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	5		Dados de campo
		Valor do equipamento	3.000,00	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	0,294	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	5	ano	
		Energia calculada	3,11E+03	US\$/ha	
13	Gerador	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	2.500,00	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	0,294	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	10	ano	
		Energia calculada	7,63E+01	US\$/ha	
14	Cone Inhoff	Quantidade x Valor do equipamento x Cotação do dólar / Área / Tempo de vida útil do equipamento		US\$	
		Quantidade	1		Dados de campo
		Valor do equipamento	300,00	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305	US\$	BRASIL, 2018
		Área	0,294	ha	Dados de campo
		Tempo de vida	10	ano	
		Energia calculada	3,11E+01	US\$/ha	
15	Ração	Consumo		g/ha	
		Energia calculada	1,31E+08	g/ha	Dados de campo
16	Silicato	Consumo		g/ha	
		Energia calculada	4,37E+05	g/ha	Dados de campo
17	Energia elétrica	Demanda energética x Conversão J/kWh		J	
		Demanda energética	402.012,47	kWh/ha	Dados de campo
		Conversão J/kWh	3,6E+06	J/kWh	
		Energia calculada	5,88E+11	J/ha	
18	Mão de obra	Dias de trabalho x Homens/ha x Gasto energético x Conversão		J	
		Homens/dia	1.632,65		Dados de campo
		Gasto energético	2500	kcal	
		Conversão	4,18E+03	J/kcal	

		Energia calculada	1,71E+10	J/ha	
19	Assistência técnica	Dias de trabalho x Homens/ha x Gasto energético x Conversão Homens/dia	97,16	J	Dados de campo
		Gasto energético	2500	kcal	
		Conversão	4,18E+03	J/kcal	
		Energia calculada	1,02E+09	J/ha	
20	Aquisição do probiótico	Custo do probiótico x Cotação do dólar / Área		US\$	
		Custo do probiótico	1.285,50	R\$	
		Cotação do dólar 31/10/2017	0,305		BRASIL, 2018
		Área	0,294		
		Energia calculada	1,93E+03	US\$/ha	Dados de campo
21	Manutenção do bioflocos	Outros serviços/ha		US\$	
		Energia calculada	6,41E+02	US\$/ha	Dados de campo
22	Camarão	Produção/ha x Conversão J/g		J	
		Produção/ha	1,26E+04	g/ha	Dados de campo
		Conversão J/g	2,24E+04	J/g	
		Energia calculada	2,83E+11	J/ha	

## APÊNDICE C – FLUXOGRAMAS MICROBIOLÓGICOS

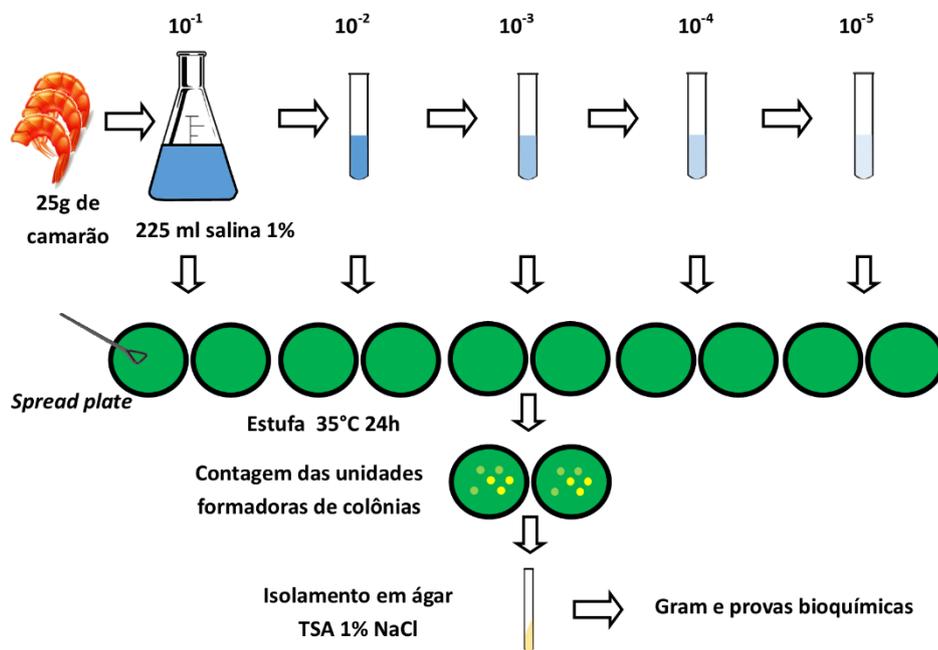
Fluxogramas das avaliações microbiológicas da qualidade do camarão

Bactérias heterotróficas mesófilas

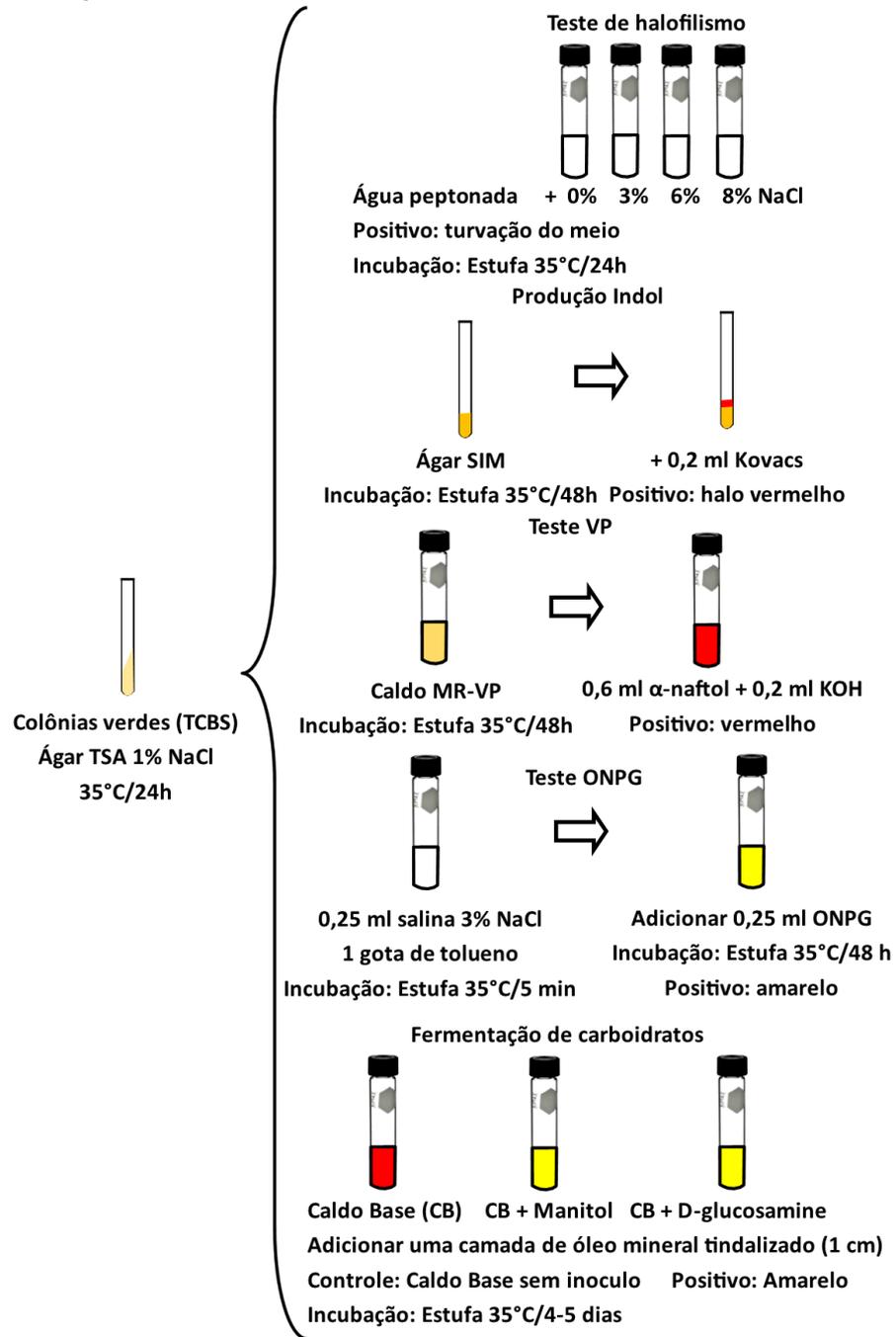


Fonte: Elaborado pelo autor

*Vibrio*



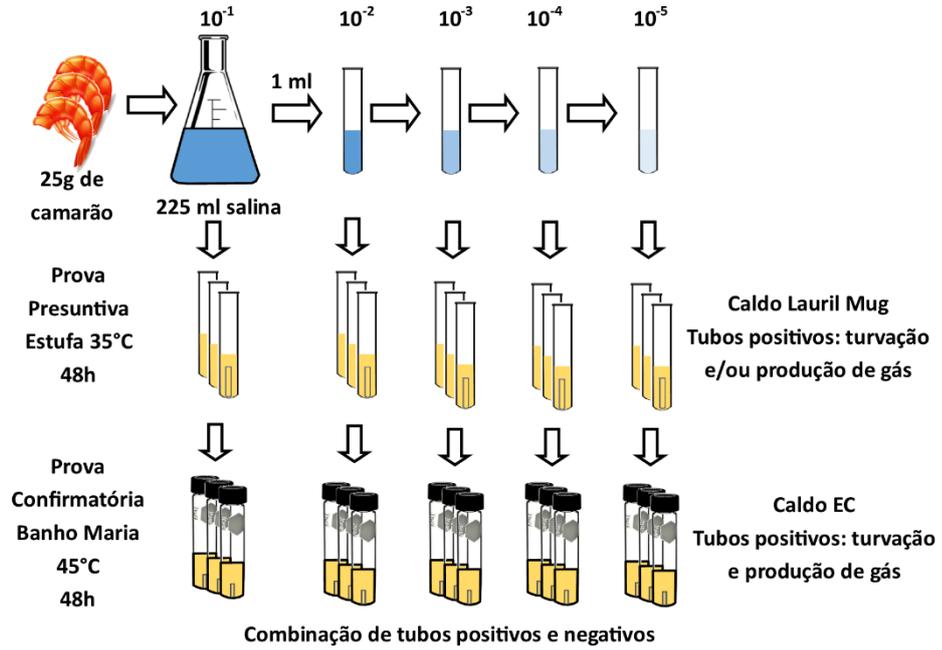
Fonte: Elaborado pelo autor

*Vibrio parahaemolyticus*

Fonte: Elaborado pelo autor

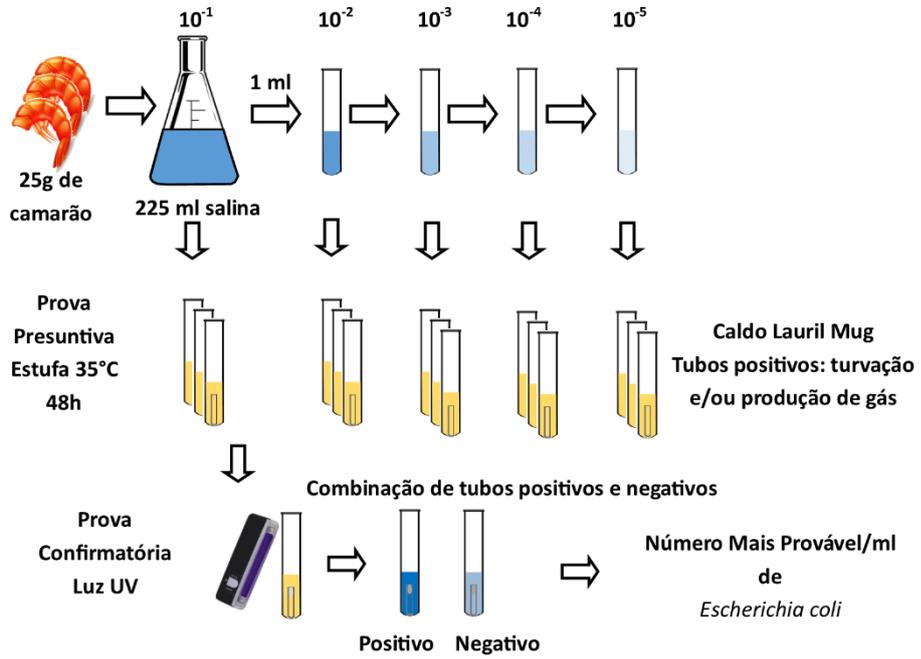
Legenda: Resultado Positivo para *Vibrio parahaemolyticus* se for cumulativamente: positivo no teste de halofilismo em concentrações de 3,6 ou 8% de NaCl; positivo no teste de Indol, negativo no teste de ONPG, positivo na fermentação de manitol, negativo no teste VP e negativo na fermentação de D-glucosamine (NOGUEROLA; BLANCH, 2008).

Coliformes termotolerantes



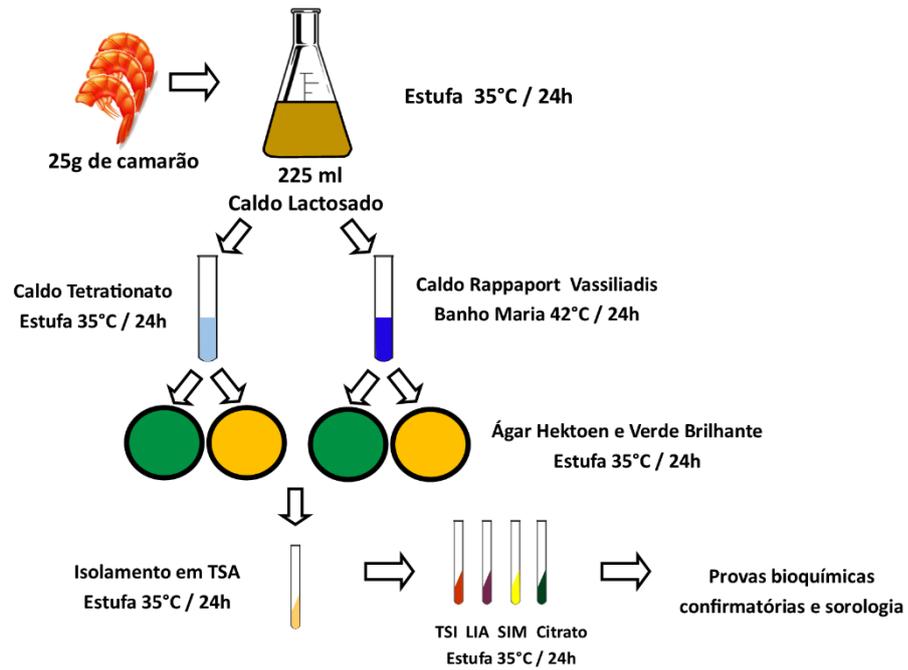
Fonte: Elaborado pelo autor

*Escherichia coli*



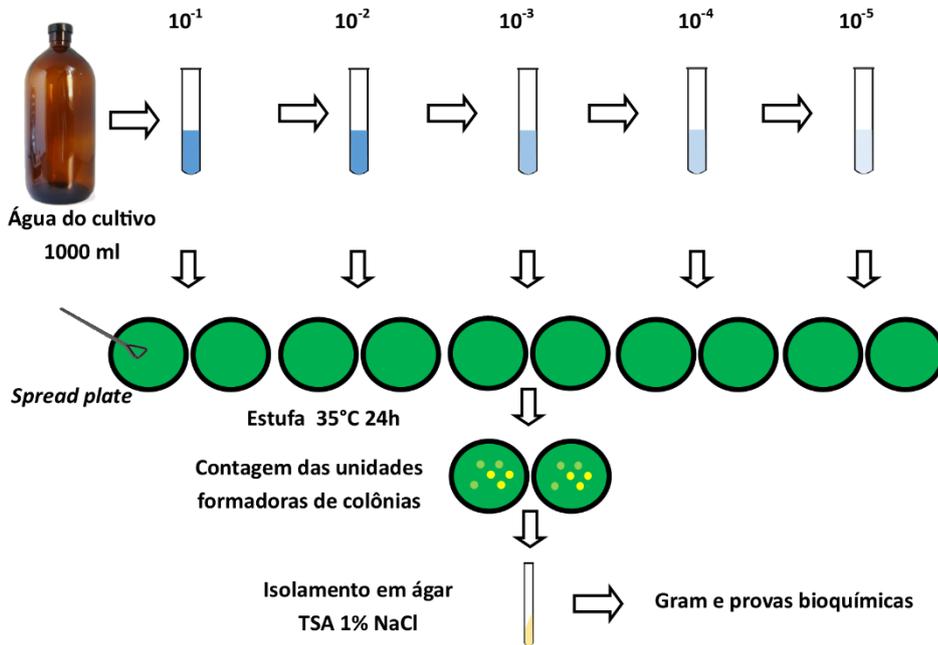
Fonte: Elaborado pelo autor

*Salmonella*



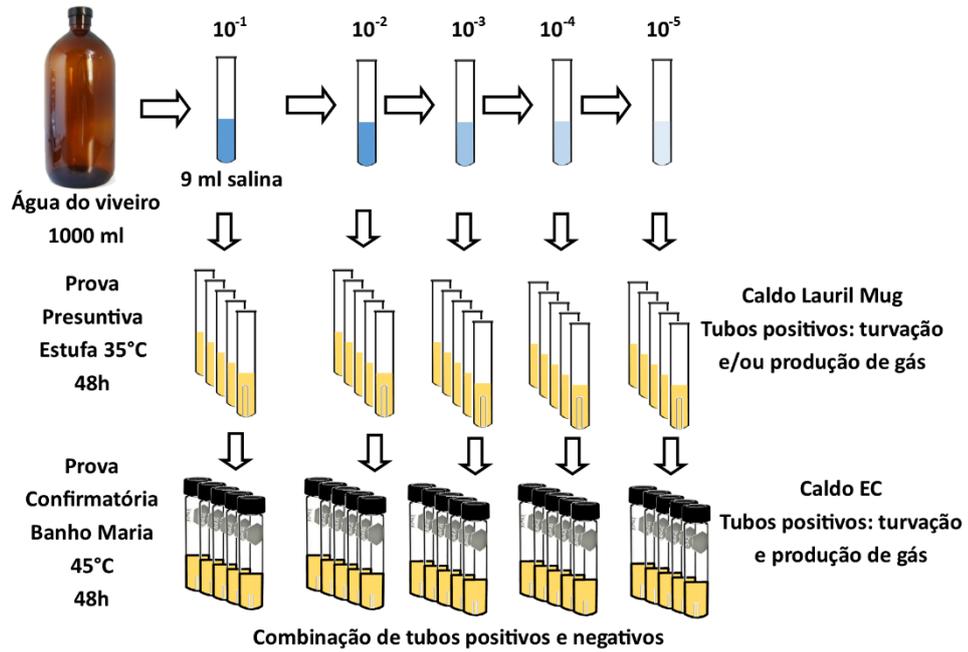
Fonte: Elaborado pelo autor

Fluxogramas das avaliações microbiológicas da qualidade da água *Vibrio*



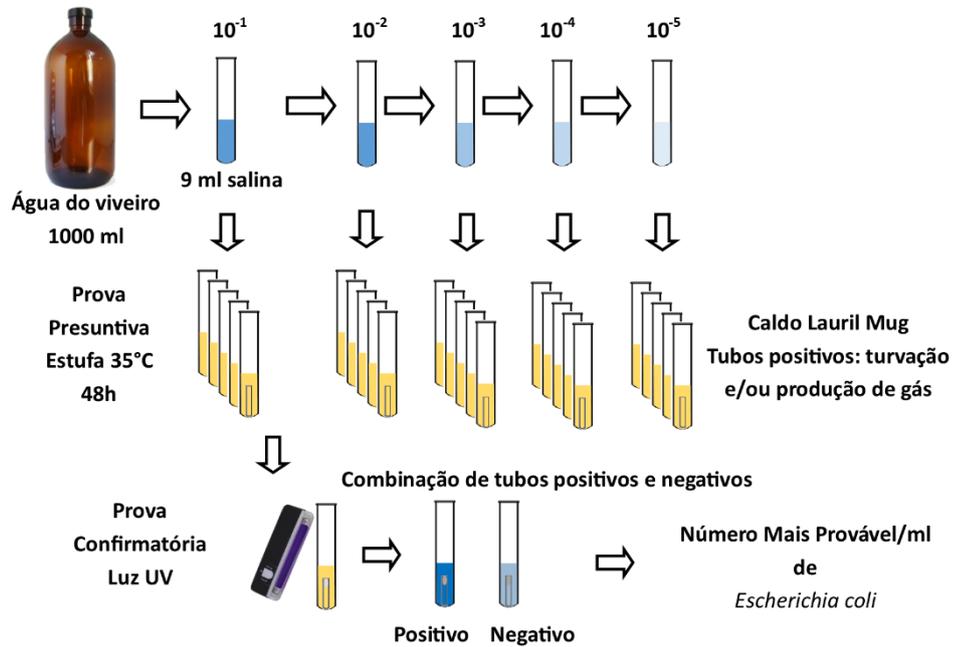
Fonte: Elaborado pelo autor

Coliformes termotolerantes



Fonte: Elaborado pelo autor

*Escherichia coli*



Fonte: Elaborado pelo autor