

Clóvis Murilo Pires

**APROVEITAMENTO DO EFLUENTE DA CARCINICULTURA
DE *Litopenaeus vannamei* EM SISTEMA BIOFLOCO PELA
MACROALGA *Kappaphycus alvarezii***

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de mestre em Aquicultura.

Orientadora: Profa. Dra. Leila Hayashi
Coorientadora: Dra. Ticiane Rover

Florianópolis
2017

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

Pires, Clóvis Murilo

APROVEITAMENTO DO EFLUENTE DA CARCINICULTURA DE
Litopenaeus vannamei EM SISTEMA BIOFLOCO PELA
MACROALGA Kappaphycus alvarezii / Clóvis Murilo
Pires ; orientador, Dra. Leila Hayashi;
coorientador, Dra. Ticiane Rover - SC, 2017.

54 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias,
Programa de Pós-Graduação em Aquicultura,
Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Aquicultura. 2. Biofloc Technology System -
BFT. 3. Carragenana. 4. Qualidade de água. 5.
Efluente. I. Hayashi, Dra. Leila. II. Rover, Dra.
Ticiane. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura.
IV. Título.

Aproveitamento do efluente da carcinicultura de *Litopenaeus vannamei* em sistema biofloco pela macroalga *Kappaphycus alvarezii*

Por

CLOVIS MURILO PIRES

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

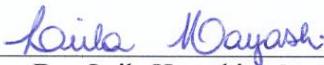
MESTRE EM AQUICULTURA

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



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

Banca Examinadora:



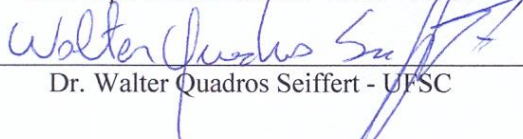
Dra. Leila Hayashi – Orientadora



Dra. Carmen Simioni - UFSC



Dr. Felipe do Nascimento Vieira - UFSC



Dr. Walter Quadros Seiffert - UFSC

Dedico este trabalho a minha família, em especial as minhas irmãs, jovens estudantes. Que este, de alguma forma, possa servir de inspiração durante seus estudos.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da UFSC pela infraestrutura e pelo suporte.

A CAPES e ao CNPQ pelo apoio financeiro.

A professora Dra. Leila Hayashi pela orientação em tempo integral, mesmo quando em outro país. Seu exemplo profissional transmite aos alunos valores muito importantes, como o comprometimento, a dedicação e a responsabilidade.

A equipe do Labnutri por realizar parte das análises.

Ao pessoal do Laboratório de Reologia e Polímeros Naturais, em especial a Dra. Giovana Carolina Bazzo e o professor Dr. Pedro Luiz Manique Barreto, que de maneira muito rápida e prestativa, cederam seus equipamentos e seu tempo para auxiliar nas análises de força e viscosidade do gel.

Ao LCM, pela sua infraestrutura e toda sua equipe, sempre disposta a ajudar.

Ao Carlos Manoel do laboratório de Qualidade de Água, por disponibilizar todos os equipamentos, o efluente e pelos ensinamentos. A Suhellen, que gentilmente se dispôs a realizar as análises de água.

A toda equipe da Seção de Macroalgas pelo apoio. Foi muito bom trabalhar com vocês durante todos esses anos, da graduação ao mestrado. Em especial a Dra. Ticiane Rover, que mesmo antes de ser minha co-orientadora já estava transitando de um laboratório para outro, sempre querendo ajudar, e ao Felipe Neves (a mente brilhante do laboratório), que por diversas vezes me ajudou desde a graduação, um ser humano extremamente inteligente e humilde.

A minha mãe Dilécia, minhas irmãs Sofia e Heloisa, e minha namorada Gabriela Gonçalves, que sem dúvidas foram meu ponto de equilíbrio para que tudo fosse possível.

Obrigado!

RESUMO

Este trabalho avaliou a capacidade da macroalga *Kappaphycus alvarezii* remover os nutrientes dissolvidos do efluente da carcinicultura de *Litopenaeus vannamei* em sistema de bioflocos (Biofloc Technology – BFT) e a influência deste efluente sobre o rendimento e a qualidade da carragenana. Talos da linhagem tetrasporofítica marrom foram cultivados durante 35 dias em condições controladas. Dois meios de cultura foram testados: solução von Stosch a 50% (V) e efluente BFT a 25% (B), ambos diluídos em água do mar esterilizada. Como controle, foi utilizado apenas água do mar esterilizada (C). Ambos os tratamentos e o controle foram feitos em triplicatas. Os talos foram fertilizados por 7 dias conforme seus respectivos tratamentos e na sequência foram cultivados apenas em água do mar esterilizada até o término do cultivo. Amostras de meio de cultura foram coletadas antes e após o período de fertilização para análise de remoção de nutrientes. Ao final do período experimental, a taxa de crescimento média final dos tratamentos V e B não apresentaram diferenças significativas ($0,87 \text{ \% dia}^{-1}$; $0,95 \text{ \% dia}^{-1}$, respectivamente) e foram superiores ao controle ($0,62 \text{ \% dia}^{-1}$). O nitrato foi a fonte de nitrogênio com maior taxa de remoção, 58,39% no tratamento V e 22,97% no tratamento B. Em relação ao fosfato, 100% foi removido no tratamento V e 83,58% no tratamento B. A concentração de nitrogênio tecidual foi significativamente maior no tratamento V (8,12%). Embora não tenha afetado o rendimento da carragenana *kappa*, foi observado força de gel e viscosidade significativamente maior no tratamento B (248,85 g cm⁻² e 19,89 mPa.s, respectivamente). Estes resultados comprovam que a macroalga *K. alvarezii* pode auxiliar no tratamento do efluente BFT e que este pode substituir a solução von Stosch sem prejudicar o rendimento e a qualidade da carragenana.

Palavras-chave: Aquicultura, Biofloc Technology System – BFT, Carragenana, Qualidade de água, Efluente

ABSTRACT

This work aims to evaluate the capacity of the seaweed *Kappaphycus alvarezii* to remove dissolved nutrients from effluent of *Litopenaeus vannamei* shrimp rearing in Biofloc Technology (BFT), and its influence over yield and carrageenan quality. Brown tetrasporophyte thalli were cultivated for thirty-five days under controlled conditions. Two culture media were tested: 50% von Stosch solution (V) and 25% BFT effluent (B), both diluted in sterilized sea water. As control, only sterilized sea water was used (C). Both treatments and the control were made in triplicates. During seven days, thalli were fertilized in the respective treatments and then cultivated in sterilized sea water until the end of the experiment. Culture media samples were taken before and after the fertilization period for nutrient removal analysis. At the end of the experimental period, the average growth rate of the treatments V and B did not show significant differences ($0,87 \text{ \% day}^{-1}$; $0,95 \text{ \% day}^{-1}$, respectively) and both were higher than the control ($0,62 \text{ \% day}^{-1}$). Nitrate showed the higher removal rate between the nitrogen sources (58,39% for V and 22,97% for B). 100% of the phosphate was removed in the treatment V and 83,58% in the treatment B. The tissue nitrogen content was higher in the treatment V (8,12%). Despite no significant differences in the *kappa* carrageenan yield, a significant higher gel strength and viscosity for the treatment B was observed (248,85 gcm^{-2} and 19,89 mPa.s, respectively). Those results show that the seaweed *Kappaphycus alvarezii* can be used in the treatment of BFT effluent. The BFT can also substitute the use of von Stosch solution, avoiding losses in the carrageenan yield and quality.

Key-words: Aquaculture, Biofloc Technology – BFT, carrageenan, water quality, effluent

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	15
1.1 Carragenanas	16
1.2 <i>Kappaphycus alvarezii</i>	17
1.3 Cultivo de macroalgas no Brasil	18
1.4 Influência da sazonalidade em <i>K. alvarezii</i>	19
1.5 Cultivo em tanques e potencial de biofiltro.....	19
1.6 Objetivo Geral.....	21
1.6.1 Objetivos específicos	21
ARTIGO	23
1. Introdução	24
2. Material e métodos	26
2.1. Material Biológico.....	26
2.2. Efluente de Cultivo de Camarões Marinhos	26
2.3. Cultivos em tanques	27
2.4. Análise da qualidade de água	28
2.5. Concentração de nitrogênio tecidual	28
2.6. Análise da carragenana	28
2.6.1. Extração	28
2.6.2. Rendimento	29
2.6.3. Força e viscosidade	29
2.7. Análises estatísticas	29
3. Resultados	30
3.1. Taxa de crescimento e ganho em biomassa	30
3.2. Qualidade de água	32
3.3. Concentração de nitrogênio tecidual	34
3.4. Força, viscosidade e rendimento da carragenana	35
4. Discussão	36
Referências	40
REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL	47

INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos 10 anos, O cenário econômico da aquicultura mundial é de crescimento exponencial, com valores de produção que praticamente dobraram (FAO, 2016). Esse fato é consequência dos avanços tecnológicos realizados nos diferentes setores aquícolas, com objetivo de suprir a demanda mundial por alimento que aumenta paralelamente ao crescimento populacional. O cultivo de macroalgas marinhas tem contribuído significativamente para a ampliação da produção aquícola mundial, com um crescimento de 160% entre 2004 e 2014. Neste último ano, esse setor atingiu mais de 26 milhões de toneladas, sendo o segundo setor que mais produz, sendo superado apenas pela piscicultura continental (FAO, 2016).

Macroalgas marinhas fazem parte da alimentação asiática tradicional, e atualmente, são encontradas em países ocidentais pela disseminação da culinária oriental. De uma maneira geral, as macroalgas podem ser divididas em três grandes grupos: as clorófitas, rodófitas e feofíceas, representados por algas verdes, vermelhas e pardas, respectivamente. Várias espécies desses grandes grupos possuem valor comercial e contribuem com o setor produtivo (ZEMKE-WHITE; OHNO, 1999). Além da alimentação direta, macroalgas são utilizadas por seus subprodutos em diversos setores das indústrias alimentícias, farmacêuticas e de cosméticos. Entre estes, destacam-se os ficocolóides: alginato, proveniente das algas pardas, e o ágar e a carragenana, de algas vermelhas (WILLIAMS; PHILLIPS, 2000). Todos são importantes para a indústria, pois apresentam propriedades gelificantes ou emulsificantes, porém os dois últimos possuem maiores demandas (PRADO-FERNÁNDEZ et al., 2003). Dentre as carragenófitas (algas produtoras de carragenanas) as eucheumatoides, que compreendem os gêneros *Eucheuma* e *Kappaphycus*, apresentam os valores mais expressivos em termos de produção e renda (FAO, 2016). Em 2014, esses dois gêneros foram responsáveis por mais de 40% da produção mundial de macroalgas, gerando uma renda 1,8 bilhões de dólares (FAO, 2016).

Eucheuma denticulatum (N.L.Burman) Collins & Hervey e *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P.C.Silva são as carragenófitas mais cultivadas no mundo, e junto da *Kappaphycus striatus* (F.Schmitz) Doty ex P.C.Silva são as principais matérias-primas de carragenana no mundo (BIXLER, 1996; ASK; AZANZA, 2002; MCHUGH, 2003). No comércio, “spinosum” é o nome dado a *Eucheuma denticulatum* e “cottonii” é o nome comum para as duas espécies de *Kappaphycus*

alvarezii e *K. striatus*. A principal diferença entre elas é o tipo e a qualidade da carragenana, sendo que a *Eucheuma* produz a carragenana *iota* e as duas espécies de *Kappaphycus* produzem a carragenana *kappa* (SANTOS, 1989).

1.1 Carragenanas

As carragenanas são polissacarídeos lineares sulfatados encontrados em diversas espécies de algas vermelhas. Apresentam função estrutural nas macroalgas equivalente à da matriz mucilagínosa que embebe a celulose nas plantas vasculares, preenchendo os vazios dentro da parede celular (STANLEY, 1987; IMESON, 2000).

Suas características químicas diferem dos demais ficocolóides como alginato e agar, particularmente em relação ao alto grau de sulfatação e a presença de polímeros aniônicos que conferem propriedades hidrofílicas de extrema importância para a indústria (STANLEY, 1987). As diferenças na composição química são responsáveis pelas propriedades reológicas que conferem funções gelificante, espessante e estabilizante (PRADO-FERNÁNDEZ et al., 2003; YONG et al., 2013)

A estrutura química das carragenanas é formada por repetidas sequências dissacarídicas de β -D-galactose ligadas na posição 1 e 4, e α -D-galactose ligadas na posição 1 e 3. A presença de ligações específicas, e o número e a posição de grupos sulfato permitem a classificação dos três principais tipos comerciais: *kappa* (κ -carragenana) que produz um gel mais firme e quebradiço, cuja força é relativamente maior; *iota* (ι -carragenana), cujo gel é mais elástico, e *lambda* (λ -carragenana), que produz soluções viscosas não gelificantes (STANLEY, 1987; PRADO-FERNÁNDEZ et al., 2003; VILLANUEVA et al., 2004).

Em 2003, a produção de carragenana mundial era estimada em US\$ 240 milhões anuais (MCHUGH, 2003) e no ano de 2009 esse valor ultrapassou US\$ 1 bilhão (BIXLER; PORSE, 2010). *K. alvarezii* possui predominantemente carragenana *kappa*, mas pode apresentar uma baixa fração *iota* e resíduos precursores de carragenana *mu* (μ), enquanto *Eucheuma denticulatum* possui predomínio de carragenana *iota*, com níveis significativos de resíduos precursores de carragenana *nu* (ν) (ASK; AZANZA, 2002; AGUILAN et al., 2003). Comercialmente, a presença de precursores em grandes quantidades pode influenciar negativamente nas propriedades gelificantes da carragenana; dessa forma, em extrações comerciais, é realizado tratamento alcalino nas algas para remover grupos sulfatados e converter os precursores μ e ν em κ e ι , respectivamente

(MCHUGH, 2003; VAN DE VELDE et al., 2002). Os principais parâmetros comerciais para classificar uma carragenana de boa qualidade são força do gel, viscosidade e características químicas (PRADO-FERNÁNDEZ, 2003).

Diferentes metodologias de extração (WEBBER; DE CARVALHO; BARRETO, 2012; MONTOLALU et al., 2008; HILLIOU et al., 2006), e fatores como o tempo de cultivo, período de colheita, sazonalidade, salinidade, profundidade e disponibilidade de nutrientes, podem influenciar nas propriedades físico-químicas da carragenana, como rendimento, força e viscosidade (AZANZA-CORRALES, 1990; TRONO; LLUISMA, 1992, HAYASHI et al., 2007b; GÓES; REIS, 2012).

1.2 *Kappaphycus alvarezii*

Kappaphycus alvarezii desenvolve-se bem em águas tropicais com temperaturas entre 20 °C e 32 °C (ARECES, 1995; MCHUGH, 2003), podendo ser encontrada na China, Japão, na região oriental da África e principalmente nos recifes com águas claras do sudeste asiático (DOTY, 1987). A espécie apresenta ciclo de vida trifásico, com presença de gametófito, tetrassporófito e carposporófito, sendo que a fase tetrassporofítica é a mais encontrada nos cultivos e bancos naturais (AZANZA-CORRALES, 1990; AZANZA-CORRALES et al., 1992; AZANZA-CORRALES; ALIAZA; MONTAÑO, 1996). A reprodução vegetativa é a maneira mais praticada nos cultivos comerciais (TRONO; VALENCIA-LUMBA; GANZON-FORTES, 1988; AZANZA-CORRALES; DAWES, 1989; ASK, 1999).

Filipinas e Indonésia foram os pioneiros no cultivo de eucheumatoides, sendo as fazendas marinhas implementadas desde os anos 70 (ASK; AZANZA, 2002). Atualmente, representam mais de 90% de toda produção mundial de plantas aquáticas (FAO, 2016). Com o sucesso comercial na Ásia e com o aumento pela demanda por carragenana, a espécie foi introduzida em diferentes partes do mundo, principalmente em regiões tropicais, servindo como fonte de renda para diversas famílias litorâneas e estimulando a economia dos países (ASK; AZANZA, 2002; BINDU, 2011; BINDU; LEVINE, 2011; BIXLER; PORSE, 2010; HURTADO et al., 2001; PERIYASAMY; ANANTHARAMAN; BALASUBRAMANIAN, 2014)

1.3 Cultivo de macroalgas no Brasil

Mesmo apresentando um extenso litoral com locais propícios para o cultivo de macroalgas marinhas, no Brasil o cultivo em escala comercial ainda está em fase inicial (REIS; CASTELAR; SANTOS, 2016). Durante muito tempo, a espécie nativa *Hypnea musciformis* (Wulfen) J.V. Lamour tem sido explorada, porém essa prática contribuiu significativamente para a depleção dos estoques naturais e o valor de produção anual não é suficiente para atender a demanda nacional por carragenana, tornando o país um importador do subproduto (STANLEY, 1987; OLIVEIRA, 1998; FURTADO, 1999; MARINHO-SORIANO; MORALES; MOREIRA, 2002; MDIC, 2016).

O Brasil importou em 2015, 1.836 toneladas de carragenana, totalizando mais de 18 milhões de dólares (MDIC, 2016). Segundo Furtado (1999) e Carvalho Filho (2004) existem três empresas nacionais que processam agar e carragenana: a Griffith S/A, localizada em Mogi das Cruzes (SP), que importa *K. alvarezii* seca das Filipinas para produzir carragenana *kappa* semi-refinada (HAYASHI, 2001); a Agar Gel, de João Pessoa (PB), que produz carragenana de *H. musciformis* (Wulfen) J.V. Lamour, e agar de espécies de *Gracilaria Greville* provenientes da costa nordestina, e de *Gracilaria chilensis* C.J. Bird, McLachlan & E.C. Oliveira importada do Chile; e a empresa Sete Ondas Biomar, inaugurada em 2005, para processar carragenana semi-refinada de *K. alvarezii* (REIS et al., 2006) porém segue fechada desde 2010 (L. Hayashi, comunicação pessoal).

As dificuldades de estabelecer o cultivo de espécies nativas, por falta de técnicas de cultivo, herbivoria, baixa qualidade do gel, baixas taxas de crescimento e produção (PAULA; PEREIRA; OSTINI, 1998), somados ao sucesso dos cultivos de *K. alvarezii* em diversos países e a demanda nacional pela carragenana, impulsionou a introdução da espécie no Brasil.

O Estado de São Paulo foi pioneiro na introdução em 1995, onde foram realizados cultivos em escala experimental no município de Ubatuba (PAULA; PEREIRA; OHNO, 2002), que se mantém até os dias do hoje. Em 1998, o Estado do Rio de Janeiro iniciou os cultivos em escala comercial em Ilha Grande e Angra dos Reis, e mais recentemente em Parati. Por ser uma referência nacional em maricultura, em 2008 o município de Florianópolis, no Estado de Santa Catarina, iniciou o cultivo de *K. alvarezii*, em escala também experimental, para avaliar o desenvolvimento da espécie na região sul do Brasil.

Hayashi et al. (2010) observaram que a espécie se desenvolveu bem ao longo do ano na região de Florianópolis, porém nos meses de inverno, onde a temperatura da água pode ser inferior a 16 °C, foi observado uma queda considerável na taxa de crescimento.

1.4 Influência da sazonalidade em *K. alvarezii*

A sazonalidade de alguns fatores ambientais como alteração na salinidade, luminosidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes e hidrodinâmica do local, podem afetar diretamente o cultivo de *K. alvarezii* (GÓES; REIS, 2012; GLENN; DOTY, 1990; HURTADO et al., 2001; FREILE-PELEGRÍN; ROBLEDO; AZAMAR, 2006). Desde o início do cultivo de eucheumatoides, os padrões sazonais para o crescimento das espécies já eram observados (DAWES et al., 1974; DOTY; ALVAREZ, 1975) e vários trabalhos estão sendo realizados para avaliar esses efeitos sobre o desenvolvimento da espécie em diferentes países (TRONO; LLUISMA, 1992; WAKIBIA et al., 2006; HAYASHI et al., 2007b; HUNGH et al., 2008; HAYASHI et al., 2010; GÓES; REIS, 2012; PERYASAMY et al., 2014; TERADA et al., 2016; BORLONGAN et al., 2017). Encontrar tecnologias de cultivo viáveis que garantam uma produtividade com qualidade durante todo o ano é o grande desafio de produtores e indústrias. No momento, a maioria dos produtores antecipam a colheita e a venda de macroalgas para tentar minimizar os prejuízos relacionados com problemas ambientais, diminuindo ou aumentando o ciclo produtivo dependendo da época do ano (ASK, 1999; ASK; AZANZA, 2002). Ask e Azanza (2002) sugerem a transferência de parte do lote produtivo para um ambiente seguro até a época favorável ao plantio.

1.5 Cultivo em tanques e potencial de biofiltro

A busca pela segurança do lote produtivo e a garantia da produtividade durante todo ano, remete a possibilidade do uso de tanques como ambiente seguro e controlável. Entretanto, assim como para os demais organismos aquáticos cultiváveis, manter macroalgas marinhas em um ambiente artificial, seja em laboratório ou em tanques, exige certos cuidados, uma vez que fora do habitat natural é necessário ajustar alguns parâmetros para o bom desenvolvimento da espécie, como por exemplo, aeração, iluminação, movimentação de água e o fornecimento de nutrientes, fatores limitantes para o desenvolvimento da alga e que dependem maiores custos.

Em escala laboratorial existem algumas soluções nutritivas que oferecem boas taxas de crescimento para a macroalga *K. alvarezii*, como a solução von Stosch a 50%, solução Provasoli a 100% e solução de Guillard and Rhyther a 25% (PAULA; ERBERT; PEREIRA, 2001; ERBERT, 2001). Entretanto, em escalas comerciais, o uso dessas soluções inviabilizaria financeiramente o cultivo. Procurando alternativas, Schramm et al. (1984), utilizaram tanques com uréia para fertilizar as macroalgas em uma fazenda de eucheumatoides nas Filipinas e observaram que apesar da fonte de nitrogênio utilizada ser pobre, ainda promoveu uma melhora na taxa de crescimento em comparação às algas cultivadas sem nutrientes.

Macroalgas apresentam a capacidade de converter resíduos orgânicos dissolvidos na água em nutrientes para se desenvolver. Compostos nitrogenados e fosfatados que são gerados diariamente em cultivos aquícolas podem ser assimilados pelas macroalgas e convertidos em biomassa (XU; FANG; WEI, 2008; KHOI; FOTEDAR, 2011), minimizando a eutrofização. Essa capacidade é amplamente estudada a vários anos, especialmente dentro do contexto de cultivos multitróficos integrados (IMTA – do inglês “Integrated Multi-Trophic Aquaculture”) (Miranda-Baeza et al., 2016; Khoi; Fotedar, 2011; Brito et al., 2014).

A medida que os sistemas produtivos aquícolas se intensificam, surge a necessidade de encontrar formas alternativas e economicamente viáveis de tratar o efluente reduzindo os danos ao meio ambiente (NEORI et al., 2004). Mesmo em sistemas superintensivos, como a carcinicultura em sistema de bioflocos (Biofloc Technology – BFT), onde a renovação de água é muito baixa e parte excedente da matéria orgânica é incorporada a uma biomassa bacteriana, servindo de alimento para o camarão (AVNIMELECH, 2009; RAY et al., 2010), é possível ocorrer a eutrofização do meio através da lixiviação de compostos nitrogenados e fosfatados presentes na ração (SILVA et al., 2013). Segundo Chopin et al. (2001), a interação entre cultivos de diferentes níveis tróficos parece ser uma opção inteligente para otimizar o sistema. Pela capacidade de remover nutrientes dissolvidos na água, as macroalgas são consideradas excelentes biofiltros dentro do conceito do IMTA. Entretanto, nem todas as espécies podem ser utilizadas como biofiltros, se não possuírem uma destinação própria para biomassa produzida. O baixo valor comercial de muitas espécies resulta na transferência de ambiente de um problema. Nesse sentido, o uso de macroalgas com potencial econômico tem sido o objetivo de muitos trabalhos (HAYASHI et al., 2008; RODRIGUEZA; MONTAÑO, 2007; QIAN et al., 1996; BRITO et al., 2014).

Estudos anteriores já mostraram que o fornecimento de nitrogênio, fósforo e carbono podem influenciar significativamente não apenas no crescimento algáceo, mas também na qualidade dos ficocolóides, tanto em agarófitas quanto em carragenófitas (DAWES et al., 1974; MAIRH et al., 1999; FRIEDLANDER; LEVY, 1995; ISRAEL; MOPHY, 1999; LI; LI; WU, 1990). Entretanto ainda não foi definida uma forma segura e economicamente viável para fertilizar a *K. alvarezii*, que possa garantir alta taxa de crescimento e boa qualidade do gel, principalmente em sistemas fechados

Pires (2014) observou que o efluente da carcinicultura de *Litopenaeus vannamei* cultivado em sistema de bioflocos (Biofloc Technology – BFT) aumentou significativamente a biomassa e as taxas de crescimentos da macroalga *K. alvarezii*, bem como ramificação dos talos. O mesmo autor constatou que na concentração de 25% diluído em água do mar, o efluente não apresentou diferença significativa quando comparado a solução nutritiva von Stosch 50% e as maiores taxas de crescimento foram observadas em regime de pulso de nutrientes durante uma semana. Entretanto, o autor não avaliou o efeito do BFT sobre os parâmetros comerciais da carragenana.

1.6 Objetivo Geral

Avaliar o aproveitamento do efluente oriundo da criação de camarão-branco-do-pacífico (*Litopenaeus vannamei*) em sistema de bioflocos pela macroalga *K. alvarezii* e a influência do efluente na caracterização quantitativa e qualitativa da carragenana.

1.6.1 Objetivos específicos

- Avaliar a capacidade de absorção dos nutrientes, através das análises de qualidade de água e composição centesimal no tecido da macroalga.
- Avaliar o rendimento e a qualidade da carragenana por meio de análises de força e viscosidade

O artigo gerado por este trabalho será submetido à Aquaculture.

ARTIGO

Aproveitamento do efluente da carcinicultura de *Litopenaeus vannamei* em sistema bioflocos pela macroalga *Kappaphycus alvarezii*

Clóvis Murilo Pires^a *; Giovana Carolina Bazzo^b; Pedro Luiz Manique Barreto^b; Carlos Manoel do Espírito Santo^a; Ticiane Rover^a; Leila Hayashi^a

^aDepartamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Rodovia Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, 88034-001, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

^bDepartamento de Ciência e Tecnologia dos Alimentos, UFSC, Rodovia Admar Gonzaga, 1346, Itacorubi, 88034-001, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

*Autor correspondente. Tel: +55 48 99655 5454

Endereço de e-mail: clovism.pires@hotmail.com (C. M. Pires);
gbazzo@uol.com.br (G. C. Bazzo); pedro.barreto@ufsc.br (P. L. M. Barreto);
carlos.mes@ufsc.br (C. M. E. Santo); tici.rover@gmail.com (T. Rover);
leila.hayashi@ufsc.br (L. Hayashi)

1. Introdução

Atualmente, o cultivo de macroalgas está posicionado em segundo lugar no ranking das atividades aquícolas mais produtivas, contribuindo significativamente para desenvolvimento da área (FAO, 2016). Segundo dados da FAO, a produção de macroalgas atingiu 26,8 milhões de toneladas, movimentando 5,4 bilhões de dólares em 2014 (FAO, 2016). Dentre as espécies de macroalgas cultivadas, as “eucheumatoides”, que compreendem os gêneros *Kappaphycus* e *Eucheuma*, lideram o ranking das mais produzidas (FAO, 2016). Conhecidas comercialmente como “cottonii” e “spinosum”, essas Rhodophytas (algas vermelhas) representam mais de 40% de toda produção mundial de macroalgas, movimentando uma renda de 1,8 bilhão de dólares no comércio (FAO, 2016). *K. alvarezii* pode ser consumida diretamente como alimento, porém sua importância comercial é justificada principalmente pelo seu subproduto, a carragenana *kappa* (Trono, 1998).

A carragenana pode ser extraída de diversas espécies de macroalgas vermelhas, porém os gêneros *Eucheuma* e *Kappaphycus* apresentam carragenana *iota* e *kappa*, respectivamente, de melhor qualidade (Stanley, 1987; Trono 1997). Solúveis em água, auxiliam na formação de soluções viscosas, sendo a viscosidade e a dureza do gel uma das principais propriedades avaliadas comercialmente (Prado-Fernández, 2003). Nas algas, a carragenana auxilia na função estrutural da parede celular (Stanley, 1987). Comercialmente, sua funcionalidade é mais abrangente, sendo utilizada como agente espessante, estabilizante e emulsificante em diversos setores das indústrias alimentícias, farmacêuticas e de cosméticos (Hayashi, 2007a). Em 2009, o volume de ficocolóides comercializados ultrapassou 86 mil toneladas, movimentando mais de 1 bilhão de dólares no comércio mundial de algas, sendo a carragenana responsável por mais da metade desse comércio (Bixler e Porse, 2010).

Embora a alta demanda por ficocolóides envolva diversos países, mais de 90% da produção mundial de *K. alvarezii* é realizada em apenas dois países do sudeste asiático, as Filipinas e Indonésia. O sucesso da produção comercial, a demanda pela carragenana e sua importância, estimularam a introdução da espécie em vários países (Ask e Azanza, 2002; Levine, 2011; Bixler e Porse, 2010), inclusive no Brasil, embora a demanda nacional por ficocolóides seja suprida pela importação de macroalgas e exploração de bancos naturais (Oliveira, 1998; Furtado, 1999) ainda nos dias de hoje.

A expansão do cultivo de eucheumatoides tem beneficiado diversas comunidades litorâneas, empresas e indústrias ao redor do mundo (Bindu, 2011; Bindu e Levine, 2011; Bixler e Porse, 2010). Entretanto os efeitos da sazonalidade ambiental nos cultivos comerciais são recorrentes em diferentes localidades, podendo causar prejuízos, como ocorrências de “ice-ice”, doença degenerativa do talo resultante de estresse (Ask e Azanza, 2002). Entre tais efeitos, são descritas mudanças temporais da temperatura da água, disponibilidade de nutrientes, fluxo hídrico, alto índice de pluviosidade, variação brusca de salinidade, e, em algumas localidades, épocas do ano com maior ocorrência de tempestades e ciclones extra-tropicais (Dawes et al., 1974; Góes e Reis, 2012; Glenn e Doty, 1990; Hurtado et al., 2001; Freile-Peigrín et al., 2006). Esses fenômenos tendem a ser maiores e mais frequentes com os eventos do aquecimento global.

Alguns autores sugerem a manutenção do lote produtivo em locais abrigados das intempéries ambientais em épocas desfavoráveis ao cultivo (ASK, 1999; ASK e Azanza, 2002). Estudos estão sendo realizados com o intuito de promover o cultivo de macroalgas em tanques e criar uma nova vertente voltada ao reaproveitamento dos nutrientes através da interação de cultivos de diferentes segmentos da cadeia trófica (Hayashi et al., 2008; Brito et al., 2014). As macroalgas, particularmente, apresentam potencial como biofiltro, por sua capacidade de absorver e converter resíduos dissolvidos no meio em nutrientes para crescer (Xu et al., 2008; Khoi e Fotedar, 2011). Compostos nitrogenados são, de maneira geral, os principais precursores para o desenvolvimento algáceo, elevando as taxas de crescimento e alterando a coloração dos talos (Neish et al., 1977; Lapointe e Ryther, 1979). Rodriguez e Montañó (2007) observaram um aumento do rendimento e na viscosidade da carragenana *kappa* após o uso de efluente de piscicultura marinha como fertilizante.

Pires (2014) constatou o potencial de fertilização da macroalga *Kappaphycus alvarezii* com efluente oriundo da carcinicultura superintensiva de camarão-marinho (*Litopenaeus vannamei*) cultivados em sistema de bioflocos (BFT). Esse sistema é rico em compostos nitrogenados, a renovação de água é praticamente nula e as fezes e sobras de ração são incorporadas a biomassa bacteriana, servindo de alimento aos camarões (Avnimelech, 2009; Ray et al., 2010; Emerenciano et al., 2011; Xu et al. 2012). O mesmo autor observou que a fertilização da *K. alvarezii* com efluente BFT a 25%, em regime de nutrientes durante 1 semana e posterior cultivo em água do mar por 4 semanas, intensificou a coloração, aumentou no número de ramificações dos talos e promoveu taxas de crescimento e ganhos em biomassa semelhantes a solução von

Stosch a 50%, utilizada em cultivos de laboratório. Dentro deste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de remoção dos compostos nitrogenados e fosfatados solúveis do efluente BFT pela macroalga *Kappaphycus alvarezii* e o efeito do efluente sobre o rendimento e qualidade da carragenana *kappa*.

2. Material e métodos

O cultivo em caixas plásticas foi realizado na seção de Macroalgas do Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e teve uma duração de 35 dias.

2.1. Material biológico

Foram utilizados um total de 1.800 g de talos tetrasporofíticos marrom de *K. alvarezii*, mantidos na sala de cultura da Seção de Macroalgas, nas seguintes condições laboratoriais: água marinha esterilizada com adição semanal de solução nutritiva von Stosch a 50% (Paula et al., 2001), fotoperíodo de 12 h, aeração constante, salinidade de 35‰ e temperatura média de 25 ± 1 °C. Antes do início do experimento, os talos foram cultivados apenas em água do mar esterilizada durante uma semana.

2.2. Efluente de cultivo de camarões marinhos

O efluente foi coletado em um tanque de 45 m³ do LCM, onde eram criados em sistema de bioflocos cerca de 23.400 juvenis de *Litopenaeus vannamei*, com aproximadamente 7 g ($\pm 3,0$ g). A densidade era de 520 camarões m⁻³, recebendo 1,6 kg de ração dia⁻¹ com 35% de proteína bruta. O tanque apresentou os seguintes parâmetros físico-químicos: salinidade: 35,8‰, pH: 7,62, alcalinidade: 132 mg L⁻¹, temperatura: 27,3 °C, oxigênio dissolvido: 6,6 mg L⁻¹, amônia: 0,4 mg L⁻¹, nitrito: 0,3 mg L⁻¹, nitrato: 142 mg L⁻¹, sólidos suspensos totais (SST): 394 mg L⁻¹.

Uma amostra de 30 L foi coletada do efluente, decantada durante 20 minutos e filtrada com filtros tipo Bag de 25 µm para remoção do excesso de sólidos. Após a coleta, a amostra foi diluída com água do mar esterilizada respeitando a concentração de 25% (Pires, 2014).

2.3. Cultivos em efluentes

Foram utilizados dois tratamentos, em regime de pulso de nutrientes de 7 dias, de acordo com Pires (2014):

- Tratamento Bioflocos (B): 25% de efluente diluído em água do mar esterilizada;
- Tratamento von Stosch (V): água do mar esterilizada enriquecida com solução von Stosch a 50%

Como controle, foi feito pulso de 7 dias apenas com água do mar esterilizada (C). Todos os tratamentos foram realizados em triplicata em caixas plásticas com volume total de 30 L. Cada unidade experimental possuía 200 g de biomassa e 25 L de meio de cultura, respeitando a densidade de 8 g L⁻¹. O cultivo foi conduzido inteiramente ao acaso, na sala de cultura da Seção de Macroalgas nas condições laboratoriais citadas acima. Após o pulso, todas as unidades experimentais foram cultivadas apenas em água do mar esterilizada por mais quatro semanas, como segue o desenho experimental (Figura 1).



Figura 1 Esquema representativo indicando os 35 dias de experimentação, sendo os 7 primeiros de fertilização, onde talos de *K. alvarezii* foram cultivados conforme seus respectivos tratamentos ou controle, e os demais dias de cultivo apenas em água do mar esterilizada.

Foram realizadas pesagens com troca de água duas vezes por semana durante o período de cultivo, para determinação da taxa de crescimento de acordo com a seguinte fórmula:

$$Tc = \left[\left(\frac{Bf}{Bi} \right)^{1/t} - 1 \right] \times 100 \text{ onde } Bf = \text{biomassa final, } Bi = \text{biomassa inicial, e } t = \text{tempo (Yong et al., 2013).}$$

2.4. Análise da qualidade de água

As análises dos parâmetros físico-químicos da água foram realizadas no Laboratório de Qualidade de Água do LCM. Foram coletadas duas amostras de 100 mL por tratamento, uma antes do período de fertilização (inicial) e outra após o período (final). A taxa de remoção foi calculada de acordo com Hayashi et al. (2008):

$$Tr = 100 \times \left\{ \frac{[inicial] - [final]}{[inicial]} \right\}, \text{ onde } Tr = \text{Taxa de remoção.}$$

Para avaliar a variação de nutrientes do efluente sem a macroalga, um tratamento adicional (Co) apenas com efluente BFT a 25% diluído em água do mar esterilizada, foi adicionado durante o período de fertilização. Os parâmetros analisados foram:

- Amônia, seguindo o método indofenol (Strickland e Person, 1972);
- Fosfato, conforme o método do ácido ascórbico (Strickland e Person, 1972);
- Nitrito, pelo método de diazotização (Strickland e Person, 1972);
- Nitrato, através do método calorimétrico HACH com redução com cádmio (APHA, 2005);
- Alcalinidade, utilizando o método titulométrico com Ácido clorídrico 0,02 N (APHA, 2005);
- pH, medido com auxílio de um pHmetro

2.5. Concentração de nitrogênio tecidual

Para quantificar a concentração de nitrogênio presente na biomassa da macroalga, amostras de 5 g por repetição foram encaminhadas ao Laboratório de Nutrição (LABNUTRI) do departamento de Aquicultura da UFSC. A fração nitrogenada foi determinada através do teor de proteína pelo método de micro Kjeldahl, de acordo com AOAC (2000).

2.6. Análise da carragenana

2.6.1. Extração

A extração da carragenana foi realizada na Seção de Macroalgas do LCM/UFSC de acordo com Hayashi et al. (2007a); a biomassa final foi seca em estufa a 60 °C durante 24 h. Para a extração, foi realizado o tratamento alcalino com água destilada e hidróxido de potássio a 6% em

banho-maria por 2 h a 80 °C sobre agitação constante. As algas foram lavadas em água corrente durante 20 h e após esse período foram mantidas com água destilada por 4 h a 60 °C. O produto da digestão foi filtrado sob baixa pressão e precipitado em solução de álcool isopropílico (80%) e KCl (0,2%). As fibras resultantes foram secas em estufa a 60 °C por 12 h.

2.6.2. Rendimento

O rendimento da carragenana foi obtido pela relação entre as carragenana pela massa da alga seca (Hayashi et al., 2007a).

2.6.3. Força e viscosidade

As análises de força e viscosidade do gel foram realizadas no Laboratório de Análise Sensorial e no Laboratório de Reologia e Polímeros Naturais, respectivamente, ambos do Departamento de Ciência e Tecnologia dos Alimentos da UFSC seguindo metodologia de Hayashi et al. (2007b). A carragenana em pó foi solubilizada em água demineralizada na concentração de 1,2%, acrescida de cloreto de potássio a 0,3% para as análises de força de gel e apenas em água demineralizada a 1,5% para medidas de viscosidade. Os géis foram mantidos em banho-maria durante 30 minutos a 90 °C e em seguida permaneceram por 16 horas a 10 °C até a gelificação das amostras. As medidas de viscosidade foram analisadas a 75 °C em uma faixa rotacional de 50 a 15 rpm com Reômetro Rotacional Brookfield (DV-III Ultra) e as medidas de força em temperatura ambiente com um Texturômetro TA HD, Stable Micro System.

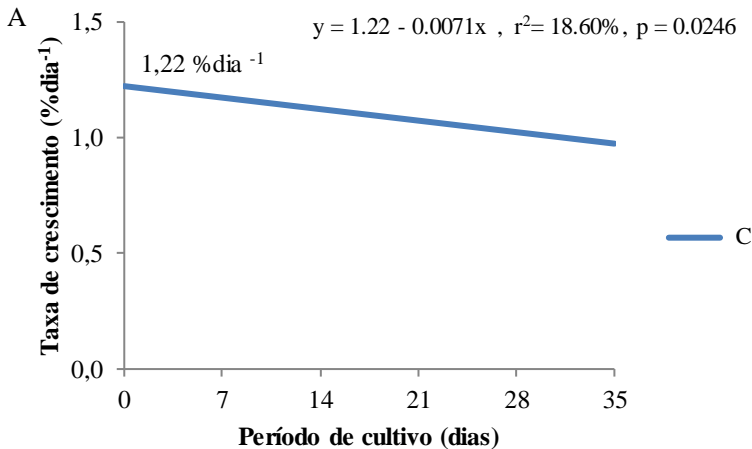
2.7. Análises estatísticas

Todos os resultados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para verificar a Normalidade e Teste F para Homocedasticidade. Respeitado os requisitos paramétricos, uma análise de variância ANOVA unifatorial foi aplicada, seguido de teste Fisher's ($p < 0,05$) para comparação de médias. Para os valores referentes a taxa de crescimento foi realizado teste de regressão. As análises foram realizadas através do programa STATISTICA (Versão 8.0).

3. Resultados

3.1. Taxa de crescimento e ganho em biomassa

Após o período de fertilização, o controle apresentou taxa de crescimento média significativamente maior aos demais tratamentos, de $1,22 \pm 0,15 \text{ \% dia}^{-1}$. Porém, durante o período de cultivo subsequente, a taxa de crescimento foi diminuindo gradativamente. Os tratamentos B e V apresentaram taxas de crescimento médias crescentes até o 28º dia, quando atingiram seus valores máximos $1,19 \pm 0,04 \text{ \% dia}^{-1}$ e $1,15 \pm 0,09 \text{ \% dia}^{-1}$, respectivamente. Após o 28º dia de cultivo, como esperado, ambos os tratamentos apresentaram quedas nas taxas de crescimento (Figura 1). Ao fim do período experimental, o controle apresentou taxa de crescimento média inferior aos demais tratamentos ($0,62 \pm 0,06 \text{ \% dia}^{-1}$) (Figura 2). Os tratamentos B e V não apresentaram diferenças significativas ao longo de todo o experimento (Figura 1 e 2).



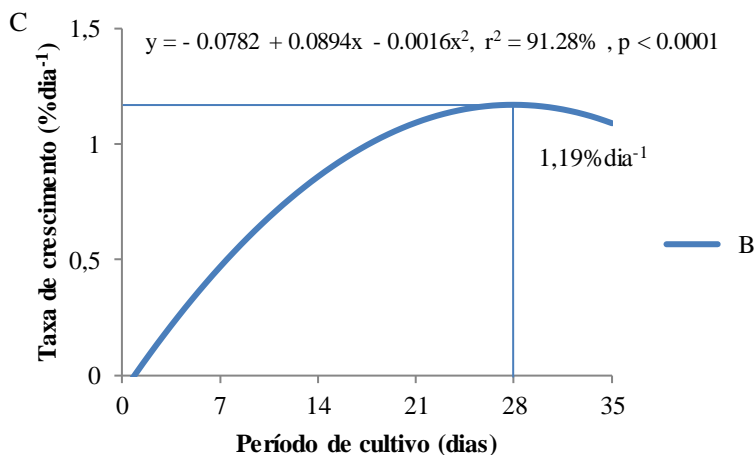
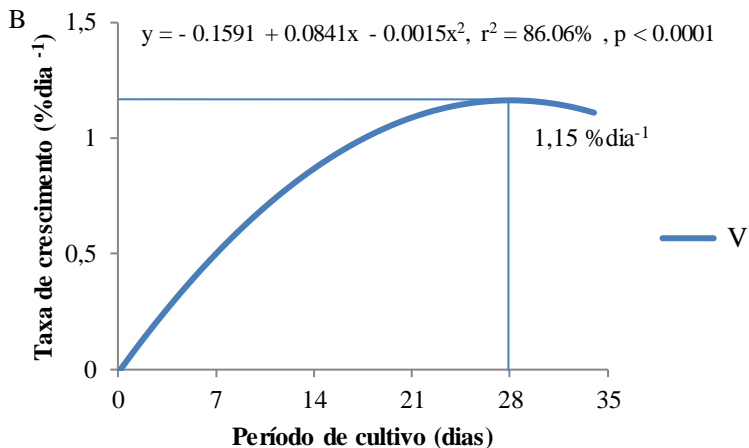


Figura 1: (A) Modelo de regressão linear da taxa de crescimento (%dia⁻¹) de talos de *K. alvarezii* cultivados em água do mar por 35 dias. (B) Modelo de regressão polinomial quadrática da taxa de crescimento de talos de *K. alvarezii* cultivados em água do mar enriquecida com solução von Stosch a 50% e (C) efluente BFT a 25% por 35 dias.

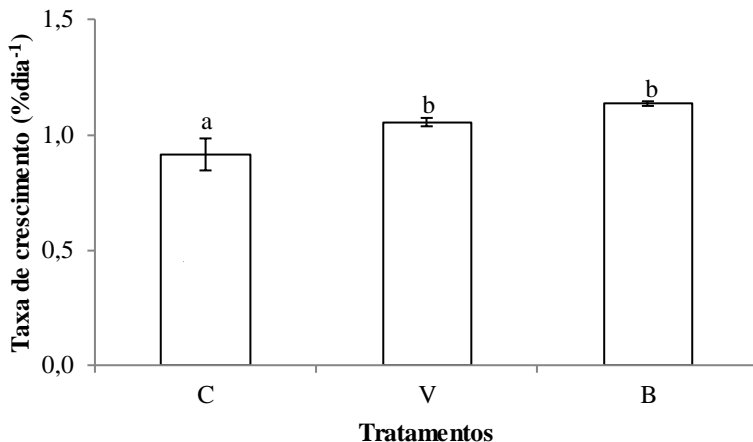


Figura 2: Taxas de crescimento média em (%dia⁻¹) de talos tetrasporofíticos marrom de *Kappaphycus alvarezii* ao longo de 35 dias de cultivo, após 7 dias de fertilização com os respectivos tratamentos: controle com água do mar esterilizada (C), solução von Stosch a 50% (V) e solução BFT a 25% (B). Valores representados em média \pm intervalo de confiança (n = 3). As letras representam as diferenças significativas entre os tratamentos, considerando $p < 0,05$.

3.2. Qualidade de água

Apenas no tratamento Co foi constatada a redução de amônia após o período de fertilização. As concentrações de nitrito foram inexpressivas nas soluções iniciais e finais do tratamento V e do controle, e o tratamento B e o tratamento Co apresentaram uma concentração inicial baixa de nitrito que não foi alterada após a fertilização. A maior taxa de remoção de nitrato pela alga foi de $58,39\% \pm 4,42\%$ (média \pm intervalo de confiança) no tratamento V, seguido do tratamento B e C com taxas de $22,97\% \pm 3,06\%$, e $11,67\% \pm 3,27\%$, respectivamente. No tratamento V foram removidos pela macroalga 100% do fosfato presente na solução, enquanto que o tratamento B foi observado remoção de $83,58\% \pm 18,71\%$. Não houve presença inicial nem final de fosfato no controle. Foi observado uma variação de 21% entre a concentração inicial e final de nitrato e 27,5% entre a concentração inicial e final de fosfato no tratamento Co (Tabela 1).

Tabela 1: Taxa de remoção (%) de amônia (a), nitrito (b), nitrato (c) e fostato (d), após o período de fertilização de 7 dias em solução von Stosch (V), BFT ou água do mar. Valores representados em média \pm intervalo de confiança (n = 3). As letras representam as diferenças significativas entre os tratamentos, considerando $p < 0,05$.

Amônia NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)			
Tratamentos	Inicial	Final	T. remoção (%)
C	0,15	0,16 (\pm 0,13)	-
V	0,13	0,55 (\pm 0,47)	-
B	0,12	0,17 (\pm 0,19)	-
Co	0,12	0,04	66,70
Nitrito NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)			
Tratamentos	Inicial	Final	T. remoção (%)
C	0	0	0
V	0	0	0
B	0,1	0,1	0
Co	0,1	0,1	0
Nitrato NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)			
Tratamentos	Inicial	Final	T. remoção (%)
C	6,00	5,30 (\pm 0,20)	11,67 (\pm 3,27) ^a
V	14,10	5,87 (\pm 0,62)	58,39 (\pm 4,42) ^b
B	35,70	27,50 (\pm 1,09)	22,97 (\pm 3,06) ^c
Co	35,70	28,10	21,00
Fosfato PO ₄ ³⁻ (mg L ⁻¹)			
Tratamentos	Inicial	Final	T. remoção (%)
C	0	0	0 ^a
V	0,45	0	100 ^b
B	1,43	0,24 (\pm 0,27)	83,58 (\pm 18,71) ^c
Co	1,43	1,04	27,5

Co = efluente de carcinicultura em bioflocos 25% sem presença de macroalga; C = água do mar (controle); V = solução von Stosch 50%; B = efluente de carcinicultura em bioflocos 25%. Quando a concentração final foi superior a inicial, os valores referentes a taxa de remoção foram desconsiderados (-).

Os valores iniciais referentes ao pH e alcalinidade apresentaram pouca variação entre os tratamentos; ambos sofreram um aumento após o período de fertilização, mas não apresentaram diferenças significativas (Tabela 2).

Tabela 2: (a) pH (b) e alcalinidade (mgL^{-1}) antes (Inicial) e após o período de fertilização (Final) de 7 dias, em talos de *Kappaphycus alvarezii* submetidos aos respectivos tratamentos. Valores representados em média \pm intervalo de confiança ($n = 3$).

a)		
Tratamentos	pH	
	Inicial	Final
C	7,80	8,70 \pm 0,09
V	7,80	8,51 \pm 0,18
B	7,71	8,51 \pm 0,28

b)		
Tratamentos	Alcalinidade	
	Inicial	Final
C	120,00	126,67 \pm 3,46
V	120,00	136,00 \pm 13,77
B	114,00	136,00 \pm 4,53

C= água do mar (controle); V= solução von Stosch 50%; B= efluente de carcinicultura em bioflocos 25%.

3.3. Concentração de nitrogênio tecidual

A concentração de nitrogênio tecidual média foi superior nas amostras fertilizadas com solução von Stosch a 50% (V) (8,12% \pm 0,37% - média \pm intervalo de confiança), quando comparada com os tratamentos C e B (1,13% \pm 0,06% e 1,26% \pm 0,09%, respectivamente) (Figura 3).

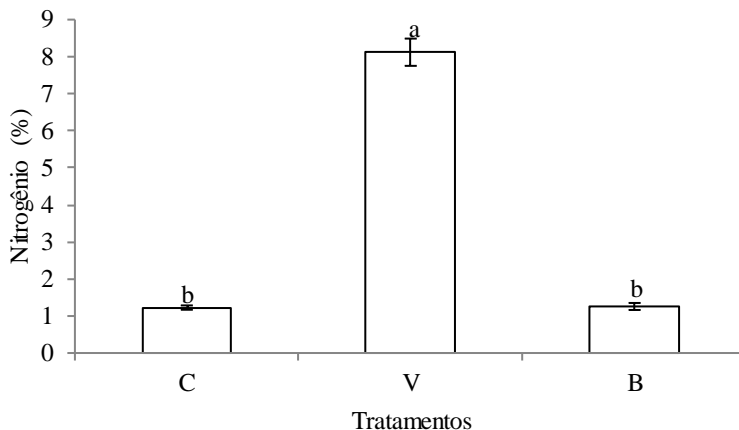


Figura 3: Concentração de nitrogênio total (%) de talos de *Kappaphycus alvarezii* após o período experimental (35 dias), determinada através do teor de proteína pelo método de micro Kjeldahl. C= água do mar (controle); V= solução von Stosch 50%; B= efluente de carcinicultura em bioflocos 25%. Valores representados em média \pm intervalo de confiança ($n = 3$). As letras representam as diferenças significativas entre os tratamentos, considerando $p < 0,05$.

3.4. Força, viscosidade e rendimento da carragenana

Não houve diferenças significativas entre os rendimentos de carragenana dos tratamentos, variando de 28,64% no tratamento V e 29,90% no tratamento B. Os tratamentos V e B apresentaram géis mais fortes, com $213,78 \pm 15,47 \text{ gcm}^{-2}$ e $248,85 \pm 14,82 \text{ gcm}^{-2}$, respectivamente (média \pm intervalo de confiança). O gel do tratamento B apresentou viscosidade superior aos demais tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3: Rendimento (%), força do gel (gcm^{-2}) e viscosidade (mPa.s), de carragenana refinada extraída de *Kappaphycus alvarezii*, após 35 dias de cultivo *in vitro*. Valores representados em média \pm intervalo de confiança ($n = 3$). As letras representam as diferenças significativas entre os tratamentos, considerando $p < 0,05$.

Treatment	Rendimento (%)	Força (gcm^{-2})	Viscosidade (mPa.s)
C	$29,86 \pm 2,55^a$	$102,27 \pm 35,50^b$	$10,06 \pm 0,08^b$
V	$28,64 \pm 3,42^a$	$213,78 \pm 15,47^a$	$11,29 \pm 1,04^b$
B	$29,90 \pm 1,35^a$	$248,85 \pm 14,82^a$	$19,89 \pm 1,10^a$

C= água do mar (controle); V= solução von Stosch 50%; B= efluente de carcinicultura em bioflocos 25%.

4. Discussão

Os valores máximos referentes a taxa de crescimento média tanto para o tratamento V ($1,15 \pm 0,09 \text{ \% dia}^{-1}$) quanto para o tratamento B ($1,19 \pm 0,04 \text{ \% dia}^{-1}$) foram registrados no 28º dia, superiores aos observados por Hayashi et al. (2008) ($0,8\% \text{ dia}^{-1}$) e Li et al. (1990) ($0,8\% \text{ dia}^{-1}$), e inferiores aos valores observados por Pires (2014) ($2,23\% \text{ dia}^{-1}$) e Rodriguez e Montañó (2007), ($2,75\% \text{ dia}^{-1}$). O crescimento significativo das amostras do controle após o período de fertilização foi observada por Pires (2014). Possivelmente, durante o período de fertilização, a macroalga dispensa sua energia na absorção e acumulação dos nutrientes dissolvidos e após a fertilização, utiliza esses nutrientes gradativamente para seu crescimento. Segundo Reed (1990), algumas espécies de algas vermelhas possuem a capacidade de bioacumular reservas de nitrogênio e utilizá-los para o crescimento subseqüentemente. No controle, pelas macroalgas serem cultivadas apenas em água do mar, o crescimento posterior não é observado. A análise de regressão mostrou que o tempo de cultivo não influenciou significativamente na taxa de crescimento do controle, e os nutrientes dissolvidos na água do mar esterilizada não foram suficientes para manter o crescimento da alga, sendo obrigatório uma complementação de nutrientes. A similaridade entre as taxas de crescimento dos tratamentos V e B ao longo de todo período experimental também foram observados por Pires (2014). Considerando a produtividade da macroalga, o efluente BFT a 25% pode ser um substituto da solução von Stosch a 50%, principalmente em maiores escalas.

Ainda que não seja passível de quantificação, os talos fertilizados com efluente apresentaram uma coloração mais forte quando comparados com os talos do tratamento controle. Tal fato também foi observado por Hayashi et al. (2008) e por Pires (2014), e reforça a hipótese de que os talos fertilizados tenham acumulado nutrientes na forma de clorofila (Reed, 1990; Dodds et al., 1997). A ausência de perdas de biomassa e de ocorrência de ice-ice sugere que os talos tenham se desenvolvido de maneira saudável.

O uso de *K. alvarezii* em sistemas integrados vem sendo estudado por diversos autores. Hayashi et al. (2008) observaram o potencial da *K. alvarezii* na remoção de nutrientes da piscicultura de *Trachinotus carolinus* bem como a produção de carragenana e seus parâmetros comerciais nessas condições. Rodriguez e Montañó (2007) relataram também o potencial de absorção de nitrogênio amoniacal total (TAN) e as características comerciais da carragenana de três espécies incluindo a *K. alvarezii* cultivadas em efluente de milkfish *Chanos chanos*. Qian et

al. (1996) realizaram um estudo com a *K. alvarezii* em cultivo integrado com ostra *Pinctada martensi*, avaliando a absorção de nutrientes pela macroalga.

Após o período de fertilização, o meio de cultura do tratamento Co apresentou uma coloração esverdeada, mais forte que o meio de cultura dos demais tratamentos. Provavelmente, as condições de cultivo e a ausência da *Kappaphycus alvarezii* como competidora por nutrientes e espaço, favoreceu a proliferação das microalgas presentes no efluente. Tal fato pode explicar inclusive as variações na concentração de amônia, nitrato e fosfato após o período de fertilização nesse tratamento, que podem ter sido absorvidos mais rapidamente pelas microalgas.

As concentrações de amônia variaram entre as repetições em todos os tratamentos. Essa variação também foi observada por Qian et al. (1996), Hayashi et al. (2008) e Rodriguez e Montaña (2007) quando em baixas concentrações, com valores oscilando entre 0 e 79,8%. A presença de amônia é um dos principais problemas relacionados a qualidade de água na aquicultura (Timmons et al., 2002). Sua toxicidade está diretamente relacionada com o pH do meio (Meade, 1989); quanto mais alcalino o meio de cultura, maior a proporção de amônia não ionizada (NH_3), altamente tóxica para organismos aquáticos (Wuhrmann e Worker, 1948). Em sistemas BFT a concentração de amônia deve ser baixa e controlada; parte da amônia liberada na decomposição da matéria orgânica é assimilada por bactérias heterotróficas e convertida em biomassa bacteriana (Avnimelech, 2009), e o restante é oxidado em nitrato, através de processos quimioautotróficos e fotoautotróficos, realizados por bactérias nitrificantes e microalgas (Brune et al., 2004). O nitrito também é altamente tóxico para diversos organismos aquáticos, e por ser um composto intermediário do processo de nitrificação, sua presença também deve ser baixa em sistemas aquícolas saudáveis (Spotte, 1979). A toxicidade do nitrato é menor quando comparado aos demais compostos nitrogenados, entretanto, em sistemas fechados, o acúmulo desse por parte do processo de nitrificação pode ser um problema. Portanto, as baixas concentrações de amônia e nitrito nos tratamentos Co e B, e a presença de nitrato como maior fonte de nitrogênio, sugere que as bactérias estavam desempenhando seu papel oxidativo.

De acordo com Hanisak (1990) o nitrato é um dos principais nutrientes para o crescimento algácea e, segundo Trono e Lluisma, (1992), o requerimento de nitrogênio por parte da *Kappaphycus alvarezii* é baixo, e provavelmente por esse motivo e pelo fato da solução von Stosch a 50% ser um nutriente formulado para o crescimento ótimo de algas, a taxa de remoção de nitrato pelo tratamento V tenha sido superior

(58,39%). Hayashi et al. (2008) registraram taxas remoção de até 50,84%, e Qian et al. (1996) observaram uma remoção de 83,4% pela macroalga.

As reduções das concentrações de fosfato foram expressivas tanto para o tratamento B (83,58%), quanto para o tratamento V, onde houve 100% de remoção. Esses valores são importantes tanto para a nutrição algácea quanto para questão ambiental, pois quando em excesso o fosfato torna-se um dos principais nutrientes responsáveis pela eutrofização no meio ambiente (Ozacar, 2003) e a redução por parte da macroalga pode ser uma medida sustentável de mitigar esse problema. Hayashi et al. (2008) observaram uma taxa de remoção de 50,4% na concentração de fosfato quando cultivaram *K. alvarezii* em água do mar, e 26,8% quando cultivada em efluente de piscicultura marinha. Chopin et al. (1990), observaram uma influência positiva da suplementação semanal de fósforo a 3 μM na carragenana de *Agardhiella subulata* (C. Agardh) Kraft e M.J. Wynne (Rhodophyta, Solieriaceae).

Rathod et al. (2014) estudou a cinética e o potencial de bioabsorção da macroalga *Kappaphycus alvarezii* em soluções de fosfato. O autor observou que o pH influencia na remoção do fosfato; as maiores taxas de remoção foram registradas em pH 6 (24,34 mgg^{-1}), diminuindo para 9,28 mgg^{-1} em pH 9, sendo constatada eficiência da macroalga como bioabsorvente para o fosfato em pH entre 5 a 6. Os aumentos do pH nos tratamentos V e B de 7,80 e 7,51, respectivamente, para 8,5 após o período de fertilização pode ser explicado pela adsorção do fosfato na superfície de *K. alvarezii* que leva a liberação de íons hidroxilas no meio (Rathod et al., 2014).

A fração de nitrogênio da biomassa de *K. alvarezii* não foi alterada pelo efluente, ao contrário da solução von Stosch. Provavelmente, pelo nitrogênio estar em menor concentração nessa solução, é melhor aproveitado e assimilado pela macroalga. As maiores concentrações presentes no efluente e toda a complexidade de nutrientes e microorganismos que nele atuam, podem interferir no processo de assimilação pela *K. alvarezii*.

O rendimento da carragenana, assim como a força e a viscosidade, é um parâmetro complexo de ser comparado com outros autores, pois depende muito dos equipamentos e da metodologia empregada (Hayashi et al., 2007a). Entretanto, utilizando a proposta experimental e a metodologia de extração semelhante à Hayashi et al. (2008), não foram observadas diferenças significativas entre efluente e controle sobre o rendimento da carragenana (21,5%), resultados muito similares aos últimos autores citados. Os valores registrados no presente trabalho corroboram com os observados por Hung et al. (2008) (26%) e

com amostras comerciais de carragenana *kappa* refinada (27%) (Hayashi et al., 2007a).

O aumento na força do gel após a fertilização com tratamento B ou V corrobora com resultados já observados por DeBoer (1979); Bird et al. (1981); Martinez e Buschmann (1996); Araño et al. (2000) e Li et al. (1990). O valor de força do gel do tratamento B (248,85 g cm⁻²) foi semelhante aos observados por Azanza-Corrales e Sa-a (1990), 90 – 320 gcm⁻² e superior aos observados por Li et al. (1990) (25 – 165 gcm⁻²), Hurtado-Ponce (1995) (1 – 131 gcm⁻²) e Rodriguez e Montaña (2007) (aproximadamente 125 g cm⁻²), embora tenha ficado abaixo do valor comercial (842 gcm⁻²) observado por Hayashi et al. (2007a).

A viscosidade do gel também foi influenciada pelo efluente, corroborando com Rodriguez e Montaña (2007). Entretanto foram inferiores a amostras comerciais da Indonésia (27 mPa.s) e Philipinas, (25,5 mPa.s) registrados por Ohno et al. (1996).

Ainda que o efluente testado tenha influenciado qualitativamente a carragenana, os valores referentes a força e viscosidade foram mais baixos que os observados por Hayashi (2007a) e Ohno et al. (1996) em amostras comerciais. Os parâmetros comerciais são baseados em amostras provenientes de fazendas marinhas, onde a hidrodinâmica pode influenciar nas características físico-químicas da carragenana (Hayashi, 2007b). O fato de terem sido analisados talos aclimatados em condições laboratoriais pode ter influenciado os baixos valores referentes a força e viscosidade. Novas análises visando a caracterização da carragenana deverão ser realizadas.

Como observado por Pires (2014), as reduções das taxas de crescimento do controle mostraram a necessidade de uma fonte de nutrientes para a macroalga. Em condições de laboratório, a solução von Stosch a 50% é amplamente utilizada para o crescimento algáceo, entretanto seu alto custo inviabiliza uma produção em maior escala. Nesse contexto, o efluente BFT analisado mostrou-se uma fonte fertilizante alternativa, econômica e ambientalmente viável para cultivos em maiores escalas, capaz de promover o crescimento saudável da espécie, sem prejudicar os principais parâmetros comerciais da mesma.

Com base nos resultados apresentados, é possível concluir que a macroalga *K. alvarezii* é eficaz na remoção de fosfato e nitrato do efluente de camarões marinhos, apresentando potencial como biofiltro em sistemas multi-tróficos integrados. O efluente oriundo da carcinicultura superintensiva de *Litopenaeus vannamei* em sistema BFT na concentração de 25% melhorou qualitativamente a carragenana da macroalga *Kappahycus alvarezii*. A presença do efluente não alterou o

rendimento da carragenana, porém o aumento na força do gel e viscosidade foram significativos.

Referências

AOAC, 2000. The official methods of analysis (17th ed.) Association of Official Analytical Chemists, Maryland, USA.

APHA, 2005. Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater (21 st ed). American Public Health Association, Washington, DC, USA.

Araño, K.G., Trono G.C. Jr, Montaña, N.E., Hurtado, A.Q., Villanueva, R.D., 2000. Growth, agar yield and quality of selected agarophyte species from the Philippines. *Bot Mar* 43:517–524

Ask, E., 1999. Cottonii and Spinosum Cultivation Handbook. FMC Food Ingredients Division, Philadelphia, pp.52.

Ask, E.I., Azanza, R.V., 2002. Advances in cultivation technology of commercial eucheumatoid species: a review with suggestions for future research. *Aquaculture*. v.26, p.257-277.

Avnimelech, Y., 2009. Biofloc technology a practical guide book. The world Aquaculture Society, Baton Rouge.

Azanza-Corrales, R., 1990. The farmed Eucheuma species in Danajon Reef, Philippines: vegetative and reproductive structures. *Journal of Applied Phycology*, i(1), 57-62.

Bindu, M.S., Levine, I.A., 2011. The commercial red seaweed *Kappaphycus alvarezii* an overview on farming and environment. *J Appl Phycol*. v. 23, p. 789–796.

Bindu, M.S., 2011. Empowerment of coastal communities in cultivation and processing of *Kappaphycus alvarezii*—a case study at Vizhinjam village, Kerala, India. *J Appl Phycol*. v. 23, p. 157–163, 2011.

Bird, K.T., Hanisak, M.D., Ryther, J., 1981. Chemical quality and production of agars extracted from *Gracilaria tikvahiae* grown in different nitrogen enrichment conditions. *Bot Mar* 24:441–444

- Bixler, H.J., Porse, H., 2010. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *J Appl Phycol.* v. 23, p. 321–335.
- Brito, L.O., Arana, L.A.V., Soares, R.B., Severi, W., Miranda, R.H., Silva, S.M.B.C., Coimbra, M.R.M., Gálvez, A.O., 2014. Water quality, phytoplankton composition and growth of *Litopenaeus vannamei* (Boone) in an integrated biofloc system with *Gracilaria birdiae* (Greville) and *Gracilaria domingensis* (Kutzing). *Aquaculture International*, v. 22, pp. 1649-1664.
- Chopin, T., Buschmann, A. H., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Neefus, C. 2001. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key toward sustainability. *Journal of Phycology*, v. 37(6), p. 975-986.
- Dawes, C.J., Lawrence, J.M., Cheney, D.P., Mathies, A.C., 1974. Ecological studies of Floridean *Eucheuma* (Rhodophyta, Gigartinales). III. Seasonal variation of carrageenan, total carbohydrate, protein, and lipid. *Bulletin of Marine Science*. v. 24, n. 2, p 286–299.
- Deboer, J.A., 1979. Effects on nitrogen enrichment on growth rates and phycocolloid content in *Gracilaria foliifera* and *Neogardhiella baileyi* (Florideophyceae). *Proc. Int. Seaweed Symp.* v. 9, p. 263-273.
- Dodds, W.K., Smith, V.H., Zander, B., 1997. Developing nutrient targets to control benthic chlorophyll levels in streams: a case study of the Clark Fork River. *Water Research*, v. 31(7), p. 1738-1750.
- Emerenciano, M., Ballester, E.L.C., Cavalli, R.O., Wasielesky, W., 2011. Effect of biofloc technology (BFT) on the early postlarval stage of pink shrimp *Farfantepenaeus paulensis*: growth performance, floc composition and salinity stress tolerance. *Aquaculture International*, v.19, p.891–901.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2016. *The State of World Fisheries and Aquaculture: Opportunities and challenges*. Rome. FAO (243 pp.)
- Freile-Pelegrín, Y., Robledo, D., Azamar, J.A., 2006. Carrageenan of *Eucheuma isiforme* (Solieriaceae, Rhodophyta) from Yucatán, México. I. Effect of extraction conditions. *Bot Mar.* v. 49, p. 65–71.

Furtado, M.R., 1999. Alta lucratividade atrai investimentos em hidrocolóides. *Química e Derivados*. v. 35, n. 377, p. 21-29.

Glenn, E.P., Doty, M.S., 1990. Growth of the seaweeds *Kappaphycus alvarezii*, *K. striatum* and *Eucheuma denticulatum* as affected by environment in Hawaii. *Aquaculture*. v. 84, p. 245–255.

Góes, H.G., Reis, R.P., 2012. Temporal variation of the growth, carrageenan yield and quality of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) cultivated at Sepetiba Bay, Southeastern Brazilian coast. *J Appl Phycol*. v. 24, p. 173–180.

Hanisak, M.D., 1990. The use of *Gracilaria tikvahiae* (Gracilariales, Rhodophyta) as a model system to understand the nitrogen nutrition of cultured seaweeds. *Hydrobiologia*, 204 (205), pp. 79–87

Hayashi, L., 2001. Extração, teor e propriedades da carragenana de *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. Silva, em cultivo experimental em Ubatuba, SP. Tese de Mestrado, Instituto de Biociência, Universidade de São Paulo, p 1-65.

Hayashi, L., Paula, E.J., Chow, F., 2007a. Growth rate and carrageenan analysis of four strains of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) farmed in the subtropical waters of São Paulo State, Brazil. *Journal of Applied Phycology*, v.19, n.1, p.393-399.

Hayashi, L., Oliveira, E.C., Bleicher-Lhonneur, G., Boulenguer, P., Pereira, R.T.L., von Seckendorff, R., Shimoda, V.T., Leflamand, A., Vallée, P., Critchley, A.T., 2007b. The effects of selected cultivation conditions on the carrageenan characteristics of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in Ubatuba Bay, São Paulo, Brazil. *Journal of Applied Phycology*, v.19, p.505-511.

Hayashi, L., Yokoya, N.S., Ostini, S., Pereira, R.T.L., Braga, E.S., Oliveira, E.C., 2008. Nutrients removed by *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in integrated cultivation with fishes in recirculating water. *Aquaculture*. 277, 185-191.

Hung, L.D., Hori, K., Nang, H.Q., Kha, T., Hoa, L.T., 2008. Seasonal changes in growth rate, carrageenan yield and lectin content in the red alga *Kappaphycus alvarezii* cultivated in Camranh Bay, Vietnam. *J Appl Phycol*. v. 21, p. 265e72.

Hurtado, A.Q., Agbayani, R.F., Sanares, R., Castro-Mallare, M.T.R., 2001. The seasonality and economic feasibility of cultivating *Kappaphycus alvarezii* in Panagatan Cays, Caluya, Antique, Philippines. *Aquaculture*. v. 199, p. 295–310.

Hurtado-Ponce, A.Q., 1995. Carrageenan properties and proximate composition of three morphotypes of *Kappaphycus alvarezii* Doty (Gigartinales, Rhodophyta) grown at two depths. *Botanica marina*, 38(1-6), 215-220.

Khoi L.V., Fotedar R., 2011. Integration of western king prawn (*Penaeus latisulcatus* Kishinouye, 1986) and green seaweed (*Ulva lactuca* Linaeus, 1753) in closed recirculating aquaculture system. *Aquaculture*, v.322-333, n.1, p.201-209.

Lapointe, B.E., Ryther, J.H., 1979. The effects of nitrogen and seawater flow rate on the growth and biochemical composition of *Gracilaria foliifera* var. *angustissima* in mass outdoor cultures. *Botanica marina*. 22 : p. 529-537.

Li, R., Li, J., Wu, C.Y., 1990. Effect of ammonium on growth and carrageenan content in *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta). *Hydrobiologia*. v. 204, pp. 499–503.

Martinez, L.A., Buschmann A.H. 1996. Agar yield and quality of *Gracilaria chilensis* (Gigartinales, Rhodophyta) in tank culture using fish effluents. *Hydrobiologia* 326/327:341–345.

Neish, A.C., Shacklock, P.F., Fox, C.H., 1977. Simpson, F.J. The cultivation of *Chondrus crispus*. Factors affecting growth under greenhouse conditions. *Can J. Bot.* 55 : p. 2263-2271.

Meade, J., 1989. *Aquaculture Management*. AVI Book, New York, 175 pp.

Miranda-Baeza, A., Sánchez, A., Rivas-Veja, M.A., López-Elias, J.P., Martínez-Córdova, L.R., Tejeda-Mansir, A., 2016. Development of a model to simulate nitrogen dynamics in an integrated shrimp-macroalgae culture system with zero water exchange. *Journal of the World Aquaculture Society*. v. 47, n. 1. pp. 129-138.

- Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A.H., Kraemer, G.P., Halling, C., Shpigel, M., Yarish, C., 2004. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. *Aquaculture*. 231, 361–391. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2003.11.015.
- Ohno, M., Nang, H.Q., Hirase, S.T., 1996. Cultivation and carrageenan yield and quality of *Kappaphycus alvarezii* in the waters of Vietnam. *J Appl Phycol* 8:431–437.
- Oliveira, E.C., 1998. The seaweeds resources of Brazil. In: A.T. Critchley & O. Masao (eds.). *Seaweeds resources of the world*. Japan International Cooperation Agency, p. 366-371.
- Ozacar, M., 2003. Adsorption of phosphate from aqueous solution onto alunite. *Chemosphere*, v. 51 (4), p. 321-327.
- Paula, E.J., Erbert, C., Pereira, R.T.L., 2001. Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) *in vitro*. *Phycological Research*. 49, 155-161. DOI: 10.1046/j.1440-1835.2001.00235.x.
- Pires, C.M., 2014. Análise do potencial de fertilização da macroalga *Kappaphycus alvarezii* com efluentes oriundos da carcinicultura de *Litopenaeus vannamei* cultivados em sistema de bioflocos. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Aquicultura, Departamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, (25 pp.).
- Prado-fernández, J., Rodríguez-vázquez, J.A., Tojo, E.; Andrade, J.M., 2003. Quantitation of κ -, ι -, and λ -carrageenans by midinfrared spectroscopy and PLS regression. *Analytica Chimica Acta*, v.480, p.23-37.
- Qian, P.Y., Wu, C.Y., Wu, M., Xie, Y.K., 1996. Integrated cultivation of the red alga *Kappaphycus alvarezii* and the pearl oyster *Pinctada martensi*. *Aquaculture*, v. 147(1-2), p. 21-35.
- Rathod, M., Mody, K., Basha, S., 2014. Efficient removal of phosphate from aqueous solutions by red seaweed, *Kappaphycus alvarezii*. *Journal of Cleaner Production*, v. 84,p. 484-493.

- Ray, A.J., Lewis, B.L., Browdy, C.L., Leffler, J.W., 2010. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, v.299, n.1, p.89-98.
- Reed, R.H., 1990. Solute accumulation and osmotic adjustment K.M. Cole, R.G. Sheath (Eds.), *Biology of Red Algae*, Cambridge University Press, New York, pp. 147–170.
- Rodrigueza, M.R.C., Montaño, M.N. E., 2007. Bioremediation potential of three carrageenophytes cultivated in tanks with seawater from fish farms. *J Appl Phycol*. 19, 755–762. DOI 10.1007/s10811-007-9217-0.
- Spotte, S. 1979. *Fish and Invertebrate Culture*. John Wiley and Sons eds, New York. USA.
- Stanley, N., 1987. Production, properties and uses of carrageenan. *FAO Fish Tech. Pap*288, p.116–146.
- Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1972. A practical handbook of seawater analysis. *Fish. Res. Board Can. Bull.*, Ottawa, v. 167, p. 311.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., 2002. *Recirculating Aquaculture Systems*, 2nd Edition. Cayuga Aqua Ventures, New York. 769 pgs.
- Trono, G.C.Jr., 1997. *Field Guide and Atlas of the Seaweed Resources of the Philippines*. Bookmark, Inc., Manila, Philippines, 303 pp.
- Trono, G.C., 1998. The seaweed resources of the Philippines. In Critchley AT, Ohno M (eds), *Seaweed Resources of the World*. Japan International Cooperation Agency, Yokosuka: 47–61.
- Whurmann, K., Worker, H. 1948. Experimentelle untersuchugen uber die ammoniak – und blausaurevergiftung, *Schweiz. Z, Hydrol.*, 11, p; 210-44.
- Xu, Y., Fang, J., Wei, W., 2008.. Application of *Gracilaria lichenoides* (Rhodophyta) for alleviating excess nutrients in aquaculture. *Journal of Applied Phycology*, v. 20, n. 2, p. 199-203.

Xu, W.J., Pan, L.Q., Zhao, D.H., Huang, J., 2012. Preliminary investigation into the contribution of bioflocs on protein nutrition of *Litopenaues vannamei* fed with different dietary protein levels in zero water exchange culture tanks. *Aquaculture*, v.350-353, n.1, p.147-153.

Yong, Y.S., Yong, W.T.L. & Anton A., 2013. Analysis of formulae for determination of seaweed growth rate. *Journal of Applied Phycology*, v. 25, p. 1831-1834

REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO GERAL

AGUILAN, J. T. et al. Structural analysis of carrageenan from farmed varieties of Phillipine seaweed. **Botanica Marina**, v. 46, p. 179–192, mar. 2003.

ARECES, A. J. Cultivo comercial de carragenofitas del género *Kappaphycus* Doty. In: Alveal, K., Ferrairo, M.E., Oliveira, E.C., Sar, E. (Eds.), **Manual de Métodos Ficológicos**, Univ. Concepción, Concepción, Chile, p. 529 - 550, 1995.

ASK, E. Cottonii and Spinosum Cultivation Handbook. **FMC Food Ingredients Division**, Philadelphia, p.52, 1999.

ASK, E.I.; AZANZA, R.V. Advances in cultivation technology of commercial eucheumatoid species: a review with suggestions for future research. **Aquaculture**, v. 26, p. 257-277, 2002.

AVNIMELECH, Y. Biofloc technology. **A practical guide book. The World Aquaculture Society, Baton Rouge**, 2009.

AZANZA-CORRALES, R.; DAWES, C.J. Wound healing in cultured *Eucheuma alvarezii* var. tambalang Doty. **Botanica Marina**, v. 32, p. 229–234, 1989.

AZANZA-CORRALES, R. The farmed *Eucheuma* species in Danajon Reef, Philippines: vegetative and reproductive tructures. **Journal of Applied Phycology**, v. 2, p. 57–62, 1990.

AZANZA-CORRALES, et al. Reproduction in *Eucheuma denticulatum* (Burman) Collins and Harvey and *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty farmed in Danajon Reef, Philippines. **Aquaculture**, v. 103, p. 29–34, 1992.

AZANZA-CORRALES, R.; ALIAZA, T.T.; MONTAÑO, N.E. Recruitment of *Eucheuma* and *Kappaphycus* on a farm in Tawi-Tawi, Philippines. **Hydrobiologia**, v. 116, p. 235-244, 1996.

BINDU, M.S.; LEVINE, I.A. The commercial red seaweed *Kappaphycus alvarezii*—an overview on farming and environment. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, p. 789–796, 2011.

BINDU, M.S. Empowerment of coastal communities in cultivation and processing of *Kappaphycus alvarezii*—a case study at Vizhinjam village, Kerala, India. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, p. 157–163, 2011.

BIXLER, H.J. Recent developments in manufacturing and marketing carrageenan. **Hydrobiologia**, v. 116, p. 35-37, 1996.

BIXLER H.J.; PORSE, H. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, p. 321–335, 2010.

BORLONGAN, Iris Ann G. et al. Light and temperature effects on photosynthetic activity of *Eucheuma denticulatum* and *Kappaphycus alvarezii* (brown and green color morphotypes) from Sulawesi Utara, Indonesia. **Psychological Research**, v. 65, n. 1, p. 69-79, 2017.

BRITO, L.O. et al. Water quality, phytoplankton composition and growth of *Litopenaeus vannamei* (Boone) in an integrated biofloc system with *Gracilaria birdiae* (Greville) and *Gracilaria domingensis* (Kützinger). **Aquaculture International**, v. 22, p. 1649-1664, 2014.

CARVALHO FILHO, J. Algas: uma alternativa para as comunidades costeiras? **Panorama da Aqüicultura**, v. 14, n. 84, p. 53- 56, 2004.

CHOPIN T. et al. Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: a key toward sustainability. **Journal of Phycology**, v. 37, p. 975–986, 2001.

DAWES, C.J. et al. Ecological studies of Floridean *Eucheuma* (Rhodophyta, Gigartinales). III. Seasonal variation of carrageenan, total carbohydrate, protein, and lipid. **Bulletin of Marine Science**, v. 24, n. 2, p. 286–299, 1974.

DOTY, M.S.; ALVAREZ, V.B. Status, problems, advances and economics of *Eucheuma* farms. **Marine Technology Society Journal**, v. 9, p. 30–35, 1975.

DOTY, M. S. The production and use of *Eucheuma*. In: Doty M. S., Caddy J. F. & Santelices B. (eds). Case Studies of Seven Commercial Seaweed Resources. **FAO Fisheries Technical Paper**, v. 281, p. 123-161, 1987.

ERBERT, C. **Crescimento e taxas fotossintéticas da espécie de alga exótica produtora de carragenanas *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex Silva (Rhodophyta, Gigartinales)**. 2001. 79 f. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

FAO FishStat Plus Database. Global Aquaculture Production. Disponível em: <<http://www.fao.org/fishery/statistics/globalaquaculture/production/query/en>> Acesso em: 28 set. 2016.

FREILE-PELEGRÍN Y.; ROBLEDO D.; AZAMAR, J.A. Carrageenan of *Eucheuma isiforme* (Solieriaceae, Rhodophyta) from Yucatán, México. I. Effect of extraction conditions. **Botanica Marine**, v. 49, p. 65–71, 2006.

FRIEDLANDER, M.; LEVY, I. Cultivation of *Gracilaria* in outdoors tanks and ponds. **Journal of Applied Phycology**, v. 7, p. 315–324, 1995.

FURTADO, M.R. Alta lucratividade atrai investimentos em hidrocolóides. **Química e Derivados**. v. 35, n. 377, p. 21-29, 1999.

GÓES. H.G.; REIS, R.P. Temporal variation of the growth, carrageenan yield and quality of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) cultivated at Sepetiba Bay, Southeastern Brazilian coast. **Journal of Applied Phycology**, v. 24, p. 173–180, 2012.

GLENN E.P.; DOTY, M.S. Growth of the seaweeds *Kappaphycus alvarezii*, *K. striatum* and *Eucheuma denticulatum* as affected by environment in Hawaii. **Aquaculture**, v. 84, p. 245–255, 1990.

HAYASHI, L. **Extração, teor e propriedades da carragenana de *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. Silva, em cultivo experimental em Ubatuba, SP**. 2001. 132 f. Tese de Doutorado - Instituto de Biociência, Universidade de São Paulo, 2001.

HAYASHI, L. et al. The effects of selected cultivation conditions on the carrageenan characteristics of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in Ubatuba Bay, São Paulo, Brazil. **Journal of Applied Phycology**, v. 19, p.505-511, 2007b.

HAYASHI, L. et al. Nutrients removed by *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) in integrated cultivation with fishes in recirculating water. **Aquaculture**, v. 277, p. 185–191, 2008.

HAYASHI, L. et al. *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Areschougaceae) cultivated in subtropical waters in Southern Brazil. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, p. 337-343, 2010.

HUNG, L.D. et al. Seasonal changes in growth rate, carrageenan yield and lectin content in the red alga *Kappaphycus alvarezii* cultivated in Camranh Bay, Vietnam. **Journal of Applied Phycology**, v. 21, p. 265-72, 2008.

HILLIOU, L. et al. Effect of extraction parameters on the chemical structure and gel properties of κ/ι - hybrid carrageenans obtained from *Mastocarpus stellatus*. **Biomolecular Engineering**, v. 23, p. 201-208, 2006.

HURTADO A.Q. et al. The seasonality and economic feasibility of cultivating *Kappaphycus alvarezii* in Panagatan Cays, Caluya, Antique, Philippines. **Aquaculture**, v. 199, p. 295–310, 2001.

IMESON, A. P. Carrageenan. In G. O. Phillips, & P. A. Williams (Eds.), **Handbook of Hydrocolloids**. Cambridge: Woodhead Publishing Ltda, p. 164, 2000.

ISRAEL, A.; MOPHY, M., Photosynthetic inorganic carbon utilization and growth of *Porphyra linearis* (Rhodophyta). **Journal of Applied Phycology**, v.11, n.1, p.447-453, 1999.

KHOIL V., FOTEDAR R. Integration of western king prawn (*Penaeus latissulcatus* *Kishinouye*, 1986) and green seaweed (*Ulva lactuca* LINAEUS, 1753) in closed recirculating aquaculture system. **Aquaculture**, v.322-333, n.1, p.201-209, 2011.

LI, R.; LI, J.; WU, C.Y. Effect of ammonium on growth and carrageenan content in *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta). **Hydrobiologia**, v. 204, p. 499–503, 1990.

MCHUGH, D.J. A guide to the seaweed industry. FAO Fisheries technical paper. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Rome. No. 441, p. 105, 2003.

MAIRH, O.P. et al. Effect of nitrogen sources on the growth and bioaccumulation of nitrogen in marine red alga *Kappaphycus striatum* (Rhodophyta, Solieriaceae) in culture. **Indian Journal Marine Science**, v. 28, p. 55–59, 1999.

MARINHO-SORIANO, E.; MORALES, C.; MOREIRA, W.C. Cultivation of Gracilaria (Rhodophyta) in shrimp pond effluents in Brazil. **Aquaculture Research**, v. 33, p. 1081-1086, 2002

MDC. Dados oficiais do Governo Federal de importação de produtos muscilaginosos e espessantes de carragenina (Nomeclatura Comum do Mercosul– 13023910). Disponível em <<http://alicewebmdic.gov.br//consulta-ncm/index?type/importacaoNem>> Acesso em: 29 set. 2016.

MONTOLALU, R.I. et al. Effects of extraction parameters on gel properties of carrageenan from *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta). **Journal of Applied Phycology**, v.20, p.525-526, 2008.

NEORI A. et al. Integrated aquaculture: rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture. **Aquaculture**, v. 231, p.361–391, 2004.

OLIVEIRA, E.C. The seaweeds resources of Brazil. In: A.T. Critchley & O. Masao (eds.). **Seaweeds resources of the world**, Japan International Cooperation Agency, p. 366-371, 1998.

PAULA, E. J.; PEREIRA, R. T. L.; OSTINI, S. Introdução de espécies exóticas de Eucheuma e Kappaphycus (Gigartinales, Rhodophyta) para a produção de carragenanas no litoral brasileiro. IV Cong. **Lat.-Amer., II Reun. Ibero-Amer., VII Reun. Brasileira de Ficologia**. Caxambú, MG, v. 28, 1998.

PAULA, E. J.; ERBERT, C.; PEREIRA, R. T. L. Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) *in vitro*. **Phycological Research**. v. 49, p. 155-161. 2001.

PAULA, E.J.; PEREIRA, R.T.L.; OHNO, M. Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) introduced in subtropical waters of São Paulo State, Brazil. **Phycological Research**, v.50, n.1, p.1-9, 2002.

PERIYASAMY, C. et al. Seasonal variation in growth and carrageenan yield in cultivated *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty on the coastal waters of Ramanathapuram district, Tamil Nadu. **Journal of applied phycology**, v. 26, n. 2, p. 803-810, 2014.

PERIYASAMY, C.; ANANTHARAMAN, P.; BALASUBRAMANIAN, T. Social upliftment of coastal fisher women through seaweed (*Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty) farming in Tamil Nadu, India. **Journal of applied phycology**, v. 26, n. 2, p. 775-781, 2014.

PIRES, C. M. **Análise do potencial de fertilização da macroalga *Kappaphycus alvarezii* com efluentes oriundos da carcinicultura de *Litopenaeus vannamei* cultivados em sistema de bioflocos.** 2014. 25 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Aquicultura, Departamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

PRADO-FERNÁNDEZ, J et al. Quantitation of κ -, ι -, and λ -carrageenans by midinfrared spectroscopy and PLS regression. **Analytica Chimica Acta**, v.480, p.23-37, 2003.

QIAN, P. Y. et al. Integrated cultivation of the red alga *Kappaphycus alvarezii* and the pearl oyster *Pinctada martensi*. **Aquaculture**, v. 147, p. 21–35, 1996.

RAY, A.J. et al. Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. **Aquaculture**, v.299, n.1, p.89-98, 2010.

REIS, R.P. et al. Potencial para maricultura da carragenófito *Hypnea musciformis* (Wulfen) J. V. Lamour. (Gigartinales - Rhodophyta) na Ilha da Marambaia, Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Botanica Brasil**, v. 20, p. 763–769, 2006.

REIS, R.P.; CASTELAR, B.; SANTOS, A.A. Why is algaculture still incipient in Brazil? **Journal of Applied Phycology**, p. 1-10, 2016.

RODRIGUEZA, M.R.C.; MONTAÑO, M.N. E. Bioremediation potential of three carrageenophytes cultivated in tanks with seawater

from fish farms. **Journal of Applied Phycology**, v. 19, p. 755–762, 2007.

SANTOS, G.A. Carrageenans of species *Eucheuma* J. Agardh *Kappaphycus* Doty (Solieriaceae, Rhodophyta). **Aquatic Botany**. v. 36, p.55– 67, 1989.

SCHRAMM et al. Yap Aspects of nutrient dynamics in a *Eucheuma* farm First Philippines–U.S. **Phycology Workshop**, University of the Philippines, Quezon City, Philippines, p. 1–3, 1984.

SILVA K.R.; WASIELESKY, W.; ABREU, P.C. Nitrogen and phosphorus dynamics in the biofloc production of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. **Journal of the World Aquaculture Society**, v. 44, n. 1, p. 30-41, 2013.

STANLEY, N. Production, properties and uses of carrageenan. **Production and utilization of products from commercial seaweeds. FAO Fisheries Technical Paper**, v. 288, p. 116-146, 1987.

TRONO, G. C.; VALENCIA-LUMBA, M.; GANZON-FORTES, E. T. **Philippine seaweeds**. National Book Store, 1988.

TRONO, G.C., LLUISMA, A.O. Differences in biomass production and carrageenan yields among four strains of farmed carrageenophytes in Northern Bohol, Philippines. **Hydrobiologia**, v. 247, p. 223– 227, 1992.

VAN DE VELDE, F. et al. ¹H and ¹³C high resolution NMR spectroscopy of carrageenans: application in research and industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 13, p.73-92, 2002.

VILLANUEVA R.D. et al. Structure and functional performance of gartinacean kappa-iota hybrid carrageenan and solieriacean kappa-iota carrageenan blends. **Food Hydrocolloids**, v. 18, p. 283-92, 2004.

WAKIBIA, J. G. et al. Seasonal changes in carrageenan yield and gel properties in three commercial eucheumoids grown in southern Kenya. **Botanica Marina**, v. 49, p. 208-215, 2006.

WEBBER, V.; DE CARVALHO, S. M.; BARRETO, P. L. M.. Molecular and rheological characterization of carrageenan solutions

extracted from *Kappaphycus alvarezii*. **Carbohydrate polymers**, v. 90, n. 4, p. 1744-1749, 2012.

WILLIAMS, P. A.; PHILLIPS, G. O., Introduction to food hydrocolloids. In G. O. Phillips, & P. A. Williams (Eds.), **Handbook of Hydrocolloids**. Cambridge: Woodhead Publishing Ltda, p.1-22, 2000.

XU, Y.; FANG, J.; WEI, W., Application of *Gracilaria lichenoides* (Rhodophyta) for alleviating excess nutrients in aquaculture. **Journal of Applied Phycology**. v. 20, n. 2, p. 199-203, 2008.

YONG, W. T. L. et al. Profiling of lectin production in wild-type and *in vitro* cultivated *Kappaphycus alvarezii*. **European International Journal of Science and Technology**. v. 2 (9), p. 125-132, 2013.

ZEMKE-WHITE, W. L.; OHNO, M. World seaweed utilization: an end-of-century summary. **Journal of Applied Phycology**, v.11, p.369-376, 1999.