

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AQUICULTURA

**Cultivo da macroalga *Ulva lactuca* Linneaus (Chlorophyta) integrado à produção do camarão branco do Pacífico, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), para tratamento de efluentes em sistema fechado de recirculação.**

JEFFERSON ROSANO DE ALENCAR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Aqüicultura do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Aqüicultura.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Antunes Horta Junior

**Florianópolis,  
2005**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Alencar, Jefferson Rosano de,

Cultivo da macroalga *Ulva lactuca* Linneaus (Chlorophyta) integrado à produção do camarão branco do Pacífico, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), para tratamento de efluentes em sistema fechado de recirculação./ Jefferson Rosano de Alencar – 2005.

65 p.

Orientador: Dr Paulo Antunes Horta Junior

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Aqüicultura.

1.Cultivo de macroalga; 2.*Ulva lactuca*; 3.Produção fotossintética; 4.Tratamento de efluentes; 5.Sistema fechado de recirculação; 6.*Litopenaeus vannamei*.

**Cultivo da macroalga *Ulva lactuca* Linneaus (Chlorophyta) integrado à produção do camarão branco do Pacífico, *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), para tratamento de efluentes em sistema fechado de recirculação.**

Por

JEFFERSON ROSANO DE ALENCAR

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

**MESTRE EM AQUICULTURA**

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

---

Profa. Débora Machado Fracalossi, Dra.  
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

---

Dr. Paulo Antunes Horta Junior – *Orientador*

---

Dr. Alex Pires de Oliveira Nuñez

---

Dra. Zenilda Laurita Bouzon

*“Dedico esta dissertação aos meus familiares e amigos que ajudaram a concretizar meus objetivos e a trilhar com perseverança nesta jornada, despendendo orientação, confiança e dedicação a minha pessoa”.*

*"Es gibt jene die einen Tag kämpfen; und dafür sind sie gut; Es gibt jene die viele Tagelang kämpfen; und dafür sind sie sehr gut; Es gibt jene die Jahrelang kämpfen; und die sind besser; Aber es gibt jene die eine Lebensdauerlang kämpfen; die sind unentbehrlich."*

Tradução:

*"Há aqueles que lutam um dia; e por isso são bons; Há aqueles que lutam muitos dias; e por isso são muito bons; Há aqueles que lutam anos; e são melhores ainda; Porém há aqueles que lutam toda a vida; esses são imprescindíveis."*

Bertold Brecht (1898-1956),  
escritor e dramaturgo alemão.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por permitir o cumprimento de mais uma etapa em minha vida.

Ao Prof. Dr. Paulo A. Horta Junior pela orientação, confiança e apoio oferecidos, mesmo no período em que esteve distante.

Aos meus pais e irmãos pelo grande apoio prestado.

À CAPES (Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudos concedida.

Ao Laboratório de Moluscos Marinhos – UFSC, na pessoa do Prof. Dr. Jaime Fernando Ferreira e do Sr. Cláudio Blacher, por propiciar o espaço físico e as condições de realização dos experimentos.

Ao Laboratório de Camarões Marinhos – UFSC, na pessoa do Prof. M.Sc. Roberto Bianchini Derner e do Prof. Dr. Edemar R. Andreatta, pelo fornecimento de pós-larvas de camarão.

Ao Laboratório de Algas Marinhas – UFSC, na pessoa da Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Zenilda L. Bouzon, por permitir a viabilidade de experimentos *in vitro* e da execução de trabalhos pertinentes às análises de água.

À Fazenda Batavia, situada em Biguaçu-SC, na pessoa do proprietário Sr. Maximiliano Kroon (Max), por contribuir gentilmente com as pesquisas, permitindo a realização de estudos *in situ* e fornecendo camarões para o experimento.

À Fazenda Pontal, situada em Gov. Celso Ramos-SC, pelo fornecimento de sedimentos dos viveiros em implantação.

Ao Sr. Arno Preus, pelo fornecimento de ração para os camarões do respectivo projeto.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Aimê Rachel M. Magalhães por disponibilizar o Laboratório de Histologia bem como o uso de equipamentos e materiais que viabilizaram os trabalhos.

À Dr<sup>a</sup>. Alessandra Fonseca pela sua grande ajuda prestada nas análises de água.

Aos professores e funcionários do Departamento de Aqüicultura por toda a atenção, compreensão e colaboração prestadas.

Aos amigos Sandro T. Emoto (Sandrão), Fabrício R. Galdino, Bruno Sardemberg, Vitor Pontinha, Gabriel S. M. de Faria, José P. Salles (Zé), Carlos E. Rezende (Baiano), Thinará Machado, Tiê, Federico Monte-Domeq (Parágua), Dani e Tiê pela ajuda prestada.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. A aquicultura no mundo	11
1.2. A atividade aquícola e a carcinicultura no Brasil	12
1.3. O cultivo de macroalgas	15
1.4. Objetivo geral do trabalho	17
1.5. A espécie <i>Ulva lactuca</i>	17
2. PRODUÇÃO FOTOSSINTÉTICA DA MACROALGA <i>Ulva lactuca</i>	21
2.1. Resumo	21
2.2. Introdução	22
2.3. Materiais e métodos	23
2.3.1. Coleta e preparo do material biológico	23
2.3.2. Delineamento experimental	24
2.3.3. Análise estatística e percentual de saturação de O <sub>2</sub>	26
2.4. Resultados	26
2.4.1. Condições do tempo	26
2.4.2. Condições experimentais	26
2.5. Discussão	30
2.6. Considerações finais	33
2.7. Referencias bibliográficas	33
3. ESTUDOS DA ESPÉCIE EM SISTEMA FECHADO DE RECIRCULAÇÃO	36
3.1. Resumo	36
3.2. Introdução	38
3.3. Materiais e métodos	40
3.3.1. Coleta do material biológico	40
3.3.2. Determinação da densidade de <i>Ulva lactuca</i>	40
3.3.2.1. Preparo do material biológico	40
3.3.2.2. Delineamento experimental	40
3.3.3. Sistema fechado de recirculação	41
3.3.3.1. Delineamento experimental	41
3.3.3.2. Povoamento dos tanques	43
3.3.3.2.1. Tanques retangulares	43
3.3.3.2.2. Tanques circulares	43

3.3.3.3. Pesagem das algas	44
3.3.3.4. Alimentação dos camarões	44
3.3.3.5. Análise de microalgas	44
3.3.3.6. Avaliação dos parâmetros ambientais	45
3.3.3.7. Recirculação	45
3.3.3.8. Coletas de água	45
3.3.4. Avaliação da taxa de crescimento	45
3.3.5. Análise de nutrientes	46
3.3.5.1. Avaliação de N-amoniaco	46
3.3.5.2. Avaliação de fósforo inorgânico dissolvido (ortofosfato)	46
3.3.6. Análise estatística	47
3.4. Resultados	47
3.4.1. Densidade	47
3.4.2. Sistema de recirculação	48
3.4.2.1. Condições ambientais	48
3.4.2.2. Crescimento dos camarões	51
3.4.2.3. Crescimento das algas	51
3.4.2.4. Análise de microalgas	52
3.4.2.5. Capacidade de remoção de $\text{N-NH}_4^+$ e $\text{P-PO}_4^{3-}$	52
3.5. Discussão	54
3.5.1. Densidade	54
3.5.2. Sistema de recirculação	55
3.5.2.1. Condições ambientais	55
3.5.2.2. Remoção dos nutrientes	56
3.6. Considerações finais	57
3.7. Conclusões	58
3.8. Referências Bibliográficas	58
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO	62



## RESUMO

Com o crescimento exponencial das fazendas de camarões marinhos em Santa Catarina e no nordeste brasileiro, cultivando a espécie *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), surge uma preocupação em buscar uma tecnologia simples, barata e limpa para torná-la uma atividade sustentável. Problemas de depleção de oxigênio, resultantes de temperaturas elevadas, flutuações da salinidade, atividades respiratórias e, principalmente, pelo acúmulo de matéria orgânica são comuns em atividades carcinicultoras. Assim como o acúmulo ou excesso de nutrientes lançados ao mar ou em zonas estuarinas através de renovações diárias de água, fazem da atividade um potencial poluidor dos ambientes adjacentes. Buscando mitigar tais problemas, a introdução controlada da macroalga *Ulva lactuca* Linneaus (Chlorophyta) em bacias de estabilização, junto aos cultivos do camarão marinho *L. vannamei*, pode oferecer uma alternativa concreta e definitiva. Através de sistema fechado de recirculação é possível exercer maior controle dos parâmetros da qualidade da água em toda a fazenda e reciclar os excessos de nutrientes resultantes do processo produtivo. A macroalga *U. lactuca* é abundante em toda a costa brasileira, tolerando bem as variações de salinidade. O presente trabalho teve como objetivos: i. apresentar a referida macroalga para a comunidade de aqüicultores; ii. avaliar a capacidade de remoção de nutrientes da espécie *U. lactuca*, cultivada de forma integrada ao camarão marinho *L. vannamei* em um sistema modelo de recirculação; iii. avaliar o impacto deste consórcio sobre a disponibilidade de oxigênio dissolvido no sistema de produção, determinando-se o balanço fotossíntese/respiração da referida macroalga cultivada em efluente da carcinicultura. A avaliação da bibliografia revelou que o gênero *Ulva*, apesar de ser considerado por alguns carcinicultores como uma praga para fazendas de camarão, apresenta importância econômica e tem um papel ecológico imprescindível por participar de maneira marcante da reciclagem de nutrientes dissolvidos nas águas de ambientes costeiros. O cultivo integrado de *Ulva* e camarões marinhos usando-se um modelo piloto de sistema de recirculação revelou que além de melhorar o crescimento dos camarões em 7,5%, em densidade de 1,5g L<sup>-1</sup>, a alga reduziu, durante 50 dias, as concentrações acumuladas de amônia e de ortofosfato do sistema de recirculação em 94% e 39,5%, respectivamente. A avaliação do impacto do cultivo da referida espécie sobre o oxigênio dissolvido de efluentes de camarão revelou uma baixa demanda respiratória e uma surpreendente produção de oxigênio, ultrapassando valores de 500% de supersaturação ao final da tarde. Este potencial pode estar sendo explorado para suprir, por várias horas, as depleções de oxigênio freqüentes nos viveiros de camarões durante a noite, reduzindo o tempo de funcionamento de aeradores e os gastos com energia elétrica.

## ABSTRACT

With the exponential growth of the shrimp farms in State of Santa Catarina and in the Brazilian northeast, cultivating the species *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931), arises a worry in seek a cheap, clear and simple technology to make it a sustainable activity. Problems of depletion of oxygen, resultant of high temperatures, fluctuations of the salinity, respiratory activities and, mainly, by the accumulation of organic matter are common in carciniculture activities. As well as the accumulation or excess of nutrients thrown to the sea or in estuary zones through of daily renewals of water, do of the activity a pollution potential of the adjacent environments. Seeking to mitigate you have problems, the introduction controlled of the macroalgae *Ulva lactuca* Linneaus (Chlorophyta) in stabilization basins, next to the cultures of the marine shrimp *L. vannamei*, can offer an one concrete and definite alternative. Through of recirculating closed system is possible exercise bigger control of the water quality parameters in all the farm and recycle the excesses of nutrients resultant of the productive trial. To macroalgae *U. lactuca* is abundant in all the Brazilian coast, tolerating well the variations of salinidade. The present work had as objectives: i. present it referred macroalgae for the community of aquacultores; ii. evaluate the capacity of removal of nutrients of the species *U. lactuca*, cultivated of integrated form to the marine shrimp *L. vannamei* in a recirculating model system ; iii. evaluate the impact of this consortium on the availability of dissolved oxygen in the system, determining the balance photosynthesis/respiration of the referred macroalgae cultivated in carciniculture efluente. The evaluation of the bibliography revealed that the genus *Ulva*, despite of be considerate by some carcinicultores as a pest for the shrimp farms, presents economic importance and has an indispensable ecological role by participate of outstanding way of the **reciclagem** of nutrients they dissolved in the waters of environments coastals. The integrated culture of *Ulva* and shrimp little seas using itself a pilot model of recirculating system revealed that beyond improve the growth of the shrimp in 7,5%, in density of 1,5g L<sup>-1</sup>, the macroalgae reduced, during 50 days, the concentrations accumulated of ammonia and of orthophosphate of the recirculating system in 94% and 39,5%, respectively. The evaluation **of the impact of the referred specie culture** on the oxygen dissolved of shrimp efluentes have to reveal a low respiratory demand and a surprising output of oxygen, surpassing values of 500% of supersaturation to the end of the afternoon. This potential may be being exploited for supply, by several hours, the oxygen depletion of frequent in shrimp ponds during the night, reducing the time of operation of aerators and the expense with electric energy.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. A aqüicultura no mundo

Ao redor do mundo, a aqüicultura tem crescido extraordinariamente ao longo dos últimos anos, a uma taxa de cerca de 10% ao ano. Esse crescimento tem sido impulsionado pelo efeito combinado do crescimento da população do planeta e pelo aumento do consumo de produtos aqüícolas por parte dos países desenvolvidos (BIAO *et al.*, 2004 e DANOVARO *et al.*, 2004).

A base deste crescimento, dos cultivos intensivos ou super-intensivos de camarões, de peixes, de ostras, de mexilhões ou de outro organismo aquático cultivável como as macroalgas foi a monocultura. O cultivo exclusivo de uma única espécie facilita o manejo e a aplicação de técnicas e instrumentos que visam facilitar e aumentar a produtividade. Entretanto, o monocultivo destes organismos, apesar de produzir divisas e desenvolvimento econômico a curto prazo, tem produzido severos danos ao meio com a degradação de ambientes costeiros através da remoção da vegetação nativa e/ou eutrofização dos corpos d'água adjacentes (BIAO *et al.*, 2004).

Por outro lado, o conceito de aqüicultura integrada constitui um elemento essencial para o gerenciamento costeiro, apontando para a redução de custos, no beneficiamento econômico e social, bem como na minimização dos impactos causados pela atividade poluidora ao ecossistema (BRZESKI & NEWKIRK, 1997; CHOW *et al.*, 2001 e McVEY *et al.*, 2002). A monocultura não se baseia na premissa da sustentabilidade da aqüicultura, pois não recicla nutrientes oriundos de outras fontes de produção aqüícola, eleva os custos de produção e pode levar à perda total da cultura em caso de condições climáticas adversas ou mesmo pelo ataque de pragas de difícil controle.

TUDGE (2000) destaca que a ciclagem de nutrientes consiste na interação entre vários organismos que compõem um determinado sistema produtivo. Segundo o referido autor, o problema da monocultura, buscando primar por elevadas taxas de produtividade, reside no desbalanço de nutrientes ou perda destes para o meio ambiente.

Segundo TROELL *et al.* (2003), as macroalgas cultivadas em águas costeiras removem cerca de um milhão de toneladas de proteína e aproximadamente 150.000 toneladas métricas de nitrogênio anualmente. Desta forma, elas tornam os efluentes, ricos em nutrientes, em recursos aproveitáveis, neutralizando os impactos ambientais, mitigando os efeitos da eutroficação e restaurando a qualidade da água (NEORI *et al.*, 2004).

Além deste importante papel ecológico, as macroalgas constituem um recurso natural de grande relevância para a humanidade (CRITCHLEY & OHNO, 1998), por servirem de alimento ou como matéria prima para a indústria de cosméticos e produtos farmacêuticos (NEORI *et al.*, 2004). Conciliando a necessidade ecológica, e porque não jurídica, de absorção dos excessos de nutrientes disponibilizados nos efluentes das atividades aquícolas, com a possibilidade de incremento dos lucros da atividade através da comercialização deste novo produto, o consórcio de animais marinhos com macroalgas passa a representar uma necessária e verdadeira aquíicultura sustentável.

## 1.2. A atividade aquícola e a carcinicultura no Brasil

A atividade aquícola brasileira, apesar de seu crescimento vertiginoso registrado nos últimos anos (VALENTI *et al.*, 2000), não tem direcionado esforços para o cultivo de macroalgas. Entretanto, sabe-se que elas podem representar uma rica fonte de recursos econômicos para o país, conforme ocorre na China, no Japão, na Coreia e no Chile. Apesar dos entraves tecnológicos para a produção de macroalgas no Brasil estarem sendo estudados e em grande parte superados, as dificuldades de comercialização acabam desestimulando os produtores (CARVALHO FILHO, 2004). De acordo com este autor, novas alternativas estão sendo estudadas para viabilizar a produção neste setor da aquíicultura brasileira, possibilitando tornar as macroalgas uma alternativa para as comunidades pesqueiras.

Enquanto se busca a ascensão das macroalgas no cenário da aquíicultura brasileira, crescem as atividades voltadas à piscicultura de água doce, à produção de ostras e mexilhões e, sobretudo, ao cultivo de camarão marinho da espécie *Litopenaeus vannamei*. Devido a sua fácil adaptabilidade a diferentes condições do meio, alta taxa de sobrevivência e rápido crescimento, *L. vannamei* é cultivado em praticamente todos os países produtores de camarões do continente americano, representando a espécie de maior produção em cativeiro no Ocidente (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2001).

No Brasil, segundo o MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (2001), entre 1996 e 2000, o cultivo de camarão marinho cresceu significativamente, obtendo um incremento total de áreas cultiváveis na ordem de 95%, produtividade de 345% e produção total de 768%, indicando o grau de tecnificação a que foi submetida tal atividade. De acordo com SOUZA FILHO *et al.* (2003), o camarão de cultivo no Brasil representou um aumento de 31% nas exportações de pescados em 2001. Além disso, segundo estes autores, a produção brasileira de camarão cultivado alcançou 60 mil toneladas

em 2002, onde aproximadamente 96% desta produção se concentrou na região Nordeste e 3% na região Sul do país.

A região Sul é impulsionada pelo Estado de Santa Catarina na produção de camarão marinho cultivado. Com o sucesso do cultivo do *L. vannamei* em detrimento das espécies nativas, em poucos anos as áreas de fazendas aumentaram de algumas dezenas para mais de 800ha (ROUBACH *et al.*, 2003). A produção de camarões marinhos cultivados em Santa Catarina saltou de 190 toneladas em 2000 para 1.900 toneladas em 2002 (CARVALHO FILHO, 2002). O município de Laguna detém a maior produtividade, recebendo o título de capital catarinense do camarão. Segundo CARVALHO FILHO (2002), o Estado catarinense sustenta uma peculiaridade no cultivo do *L. vannamei*, onde 47,1% das fazendas variam de 10 a 30ha, 43,4% das propriedades estão caracterizadas por pequenas fazendas, com menos de 10ha, operando em regime de mão de obra familiar, e o restante, acima de 30ha. Estima-se que até 2005, cerca de 10.000ha da área litorânea de Santa Catarina estará destinada ao cultivo do camarão marinho, basicamente por pequenos produtores (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2001).

A produção de camarões peneídeos em Santa Catarina é caracterizada pelos cultivos semi-intensivos, cuja densidade não ultrapassa a 30 indivíduos m<sup>-2</sup> (SOUZA FILHO *et al.*, 2003). A profundidade dos viveiros de engorda das fazendas varia de 0,8 a 1,2m. E a transparência geralmente atende à recomendação de BOYD (1998b), devendo estar em torno de 0,2m. Segundo este autor, valores de transparência superiores ao citado indicam que o cultivo pode ser fertilizado. De acordo com FRAGA (2002), em locais com maior aporte de água doce, a flutuação da salinidade nos ambientes de cultivo é bastante elevada, tendo registrado valores extremos de 5ppt e 21ppt para a Fazenda Experimental Yakult, no norte de Santa Catarina, e de 5ppt e 15ppt para a Fazenda Costa Azul, em Laguna, sul do Estado.

Apesar do apogeu pelo qual vem passando a carcinicultura marinha brasileira através da multiplicação considerável de fazendas nos últimos anos, tanto em Santa Catarina como no Nordeste brasileiro, é importante ressaltar as preocupações com os impactos negativos desta expansão. A exemplo do Equador, Taiwan, México e Tailândia, o desenvolvimento do cultivo de camarões contribuiu para a destruição de grandes áreas de manguezais, na salinização de solos agricultáveis e no aumento da concentração de efluentes em zonas estuarinas (ANDREATTA & BELTRAME, 2004).

Os efluentes gerados pelo respectivo processo de produção aquícola são ricos em nutrientes derivados, principalmente, do excesso de ração, dos fertilizantes empregados na

adubação dos viveiros e dos produtos metabólicos produzidos pelos camarões em cultivo (PÁEZ-OSUNA *et al.*, 1997 e NUNES, 2002).

Em outro estudo, PÁEZ-OSUNA *et al.* (1999) constataram uma elevada contribuição de nitrogênio e fósforo provenientes dos cultivos semi-intensivos da carcinicultura marinha, com densidades de 16 camarões m<sup>-2</sup>, no Estado de Sinaloa, Golfo da Califórnia, México. Apesar de elevada, a carga de nutrientes observada por estes autores ficou abaixo dos valores produzidos pelos efluentes da agricultura, da indústria, bem como dos efluentes municipais daquele local. Porém, a intensificação da atividade carcinicultora, mesmo em sistemas semi-intensivos, poderá causar sérios riscos ao meio ambiente, afetando a qualidade da água e impactando toda uma região e suas adjacências, conforme registrado na piscicultura marinha de países escandinavos (ACKEFORS & ENNEL, 1990 e ENNEL, 1995).

Infelizmente, o Brasil ainda não dispõe de mecanismos de educação/conscientização ou mesmo de fiscalização eficientes que possam direcionar o desenvolvimento da carcinicultura para uma atividade sustentada. De acordo com CARVALHO (2002), a Resolução do Conama nº 312/2002, que regulamenta a atividade carcinicultora no país, diz que todas as fazendas de camarões terão que dispor de recirculação e de bacias de sedimentação/estabilização. Entretanto, são pouquíssimos os produtores que atendem a essa exigência. A maioria das fazendas operam com sistema de renovação de água, admitindo-se uma taxa de até 20% ao dia, desconsiderando outras alternativas que possam minimizar os problemas de qualidade de água.

Segundo BOYD (2000), uma renovação diária de apenas 2% realizada em um viveiro de 1 hectare é capaz de gerar 2,4 vezes o seu volume total em efluentes a cada ciclo de produção. E isso tende a se agravar à medida que a taxa de renovação diária aumenta, podendo tornar-se limitante a capacidade de suporte e de assimilação dos nutrientes por parte do ecossistema adjacente. Assim, a renovação acaba se resumindo em um “círculo vicioso”, já que a continuidade do processo produtivo depende de água de boa qualidade.

Considerando relevante a preocupação com a descarga de efluentes nas adjacências das fazendas carcinicultoras brasileiras e por desconhecer o impacto que tal atividade pode estar produzindo nos ambientes costeiros, cabe primar por tecnologias simples, baratas e limpas, capazes de promover a sustentabilidade do processo produtivo. Existem estudos experimentais, buscando a redução de sólidos suspensos, bem como das cargas de nitrogênio e fósforo resultantes da emissão dos efluentes dos cultivos de camarões marinhos, que utilizam bacias de sedimentação, integrando moluscos bivalves e macroalgas (NUNES, 2002). Tal integração contribui para o desenvolvimento de sistemas de recirculação, onde os

parâmetros de qualidade de água podem ser melhor controlados. Talvez aí estaremos transformando o processo produtivo em um “círculo virtuoso”.

### 1.3. O cultivo de macroalgas

O cultivo de macroalgas no mundo tem sido motivado pelo aumento da demanda de consumo e limitação dos bancos naturais, por ser um estímulo ao desenvolvimento industrial de países tropicais e por tornar-se uma alternativa sustentável às comunidades pesqueiras gerando-lhes uma ocupação e fonte de renda (GUIRY & BLUNDEN, 1991; RINCONES, 2000 e ZEMKE-WHITE, 2000). Os cultivos são responsáveis por representarem mais de 50% da produção mundial somente em algas vermelhas produtoras de ficocolóides (ACCIOLY, 2004). De acordo com OLIVEIRA (1989) o cultivo permite um maior controle do sistema de produção das macroalgas e oferece maior estabilidade às indústrias que trabalham com o processamento das mesmas. CARVALHO FILHO (2004) relata que entre os principais países produtores de algas, as Filipinas, a Indonésia, a África do Sul e o Chile se destacam, pois a mão-de-obra barata possibilita geralmente o bom funcionamento dos cultivos e a competitividade dos valores de comercialização.

Na Europa, GUIRY & BLUNDEN (1991) apontam boas perspectivas de cultivo de macroalgas voltadas à finalidade de reduzir nutrientes de águas eutróficas, possibilitando um subsequente aproveitamento daquelas destinadas à extração de ágar.

Na América Latina, segundo BUSCHMANN *et al.* (1995), o Chile se destaca como maior produtor de *Gracilaria* cultivada, cuja contribuição vem refletindo diretamente na progressiva redução do extrativismo. Acredita-se que o país cultiva atualmente mais de 90% da biomassa de *Gracilaria* destinada à comercialização.

Por outro lado, o Brasil importou em 2001, cerca de US\$ 15 milhões em algas e seus derivados, apesar do grande potencial que o país tem a desenvolver em termos de cultivo (CARVALHO FILHO, 2004). O referido autor comenta ainda que o nordeste brasileiro apresenta condições ideais para o desenvolvimento de projetos de cultivo de macroalgas devido as excelentes condições climáticas e geográficas da região, além de contar com capacidade ociosa de trabalho.

NUNES (2002) relatou que muitas espécies de macroalgas nativas da costa brasileira, em particular as dos gêneros *Gracilaria* e *Hypnea*, apresentam potencial de cultivo integrado à carcinicultura marinha. Em experimento realizado no Rio Grande do Norte, MARINHO-SORIANO *et al.* (2002) constataram que o cultivo de *Gracilaria* sp. pode ser desenvolvido com relativo sucesso em efluentes de fazendas de camarões marinhos. Resultados mais

expressivos de produtividade foram obtidos com *G. cornea*, na Bahia (NUNES, 2002), integrando estas espécies aos cultivos de camarões marinhos em gaiolas flutuantes.

Dentre as macroalgas cultivadas para o tratamento de efluentes, as do gênero *Ulva* merecem destaque. Elas dispõem de boa habilidade para absorver e metabolizar rapidamente o nitrogênio, elevadas taxas de crescimento, alta resistência às condições de estresse ambiental e baixa vulnerabilidade ao epifitismo (JIMÉNEZ DEL RÍO *et al.*, 1996 e NEORI *et al.*, 2000). Tais condições favorecem a exploração destas algas na aquicultura. Entretanto, pelo fato de não produzirem ficocolóides, lamentavelmente, pouca importância tem sido atribuída a elas em nosso país.

Do ponto de vista econômico, a Itália emprega a *Ulva* na fabricação de papel e na indústria de medicamentos fitoterápicos destinados ao tratamento de verminoses e infecções intestinais. Na Alemanha, estas algas também são empregadas por indústrias farmacológicas. Na França, são utilizadas como aglutinante de rações para piscicultura, além de serem empregadas como fertilizante orgânico na agricultura (PAGAND, 1999). Segundo ZAIXSO (1996), estas clorófitas fazem parte da dieta alimentar de comunidades costeiras do Uruguai e da Argentina, embora este hábito não seja tradicional. No Chile, além de ser empregada na alimentação, a espécie *Ulva lactuca* se presta à produção de biogás na Ilha de Chiloé (GRÜNEWALD, 2003).

Uma vantagem que poderá favorecer o cultivo de *Ulva* integrado à carcinicultura marinha é a sua tolerância à variação de salinidade. GAYRAL & COSSON (1986) demonstraram que as macroalgas deste gênero são capazes de suportar amplas variações de salinidade, obtendo boas taxas de crescimento. Na Alemanha, proximidades de Hamburgo (desembocadura do rio Elba com o Mar do Norte), SPIEKER (2001) constatou que *U. rigida* e *U. lactuca* se desenvolvem muito bem, apesar da grande flutuação de salinidade. Nesta região, KLIMMEK (2003) observou que a cinética de absorção de determinados íons metálicos está relacionada diretamente com a salinidade do meio onde a alga se encontra. LARTIGUE *et al.* (2003) observaram que *U. lactuca* mantém sua capacidade de assimilação de compostos nitrogenados, mesmo quando exposta frequentemente por tempo prolongado a amplas variações de salinidade, devido às suas reservas suficientes de energia e carbono. Estudos laboratoriais apontaram boas taxas de crescimento em *U. lactuca* nas salinidades de 15 e 25ppt (ALENCAR *et al.*, 2003).

Este comportamento da espécie *U. lactuca* é fundamental para integrá-la ao cultivo do camarão branco do Pacífico, *Litopenaeus vannamei*, em nosso país, já que se trata de um



crustáceo com características eurihalinas. De acordo com MENZ & BLAKE (1980), *L. vannamei* é conhecido por habitar tanto águas com 1 a 2ppt até 40ppt ou mais. Contudo, esta ampla variação de salinidade modifica o balanço osmótico e iônico do animal, provocando um aumento da demanda de energia metabólica para se adaptar ao meio, o que pode deixá-lo vulnerável às enfermidades.

#### 1.4. Objetivo geral do trabalho

O presente trabalho tem como objetivo principal buscar uma tecnologia simples, de baixo custo, que possibilite melhorar a qualidade da água dos cultivos de camarões marinhos e que permita maior controle e monitoramento dos parâmetros físico-químicos através do sistema fechado de recirculação, abordando o conceito de aqüicultura integrada entre a macroalga *U. lactuca* e o camarão marinho *L. vannamei*.

A primeira parte desta dissertação abordará alguns aspectos relativos à macroalga *Ulva lactuca*. A segunda parte consistirá em avaliar a produção fotossintética da macroalga em estudo, bem como sua demanda respiratória. Esta etapa permitirá avaliar o balanço do oxigênio dissolvido liberado pelo processo fotossintético e o do consumido pela respiração, submetendo a alga ao monitoramento circadiano, sob irradiação solar direta. A terceira parte consistirá de um estudo da adaptabilidade da alga *Ulva lactuca* a um sistema de recirculação fechada de cultivo do camarão *L. vannamei*. Para isso foram realizados testes da densidade algal mais adequada à relação de sua taxa de crescimento relativo e remoção de nutrientes. Neste experimento serão avaliados os parâmetros ambientais, a adaptação da alga ao cultivo, a sua taxa de crescimento relativo e a sua capacidade de remoção de amônia e ortofosfato produzidos pelo sistema de cultivo. Também será apresentada uma análise comparativa do crescimento do camarão cultivado em sistema de recirculação com alga e sem alga.

#### 1.5. A espécie *Ulva lactuca*

*Ulva lactuca* é uma espécie cosmopolita e oportunista (HO *et al.*, 1999) podendo ser encontrada em costões rochosos ou em zonas estuarinas (SANTOS, 1983). Segundo esta autora, a espécie é abundante em toda a costa brasileira bem como no Estado de Santa Catarina, onde a alga tem sido encontrada aderida ao substrato (em Governador Celso

Ramos e Porto Belo) ou na forma flutuante (na Lagoa de Santa Marta – Laguna). Em Florianópolis é freqüente sua presença em forma flutuante no mangue de Ponta das Canas e nos tanques de decantação dos laboratórios marinhos da UFSC, na Barra da Lagoa, durante os meses de setembro a abril. (Fig.1).



Fig.1 – Forma flutuante da macroalga *Ulva lactuca* encontrada nos tanques de decantação dos laboratórios da UFSC – Barra da Lagoa.

Semelhante a uma alface e por isso conhecida como alface do mar, *U. lactuca* pode ter um crescimento mais longitudinal, quando encontrada em costão e aderida ao substrato, ou radial, quando flutuante. Alguns talos encontrados nos tanques de decantação dos laboratórios da UFSC chegaram a medir mais de 60 cm de diâmetro.

A espécie é diferenciada das demais do gênero *Ulva* pelas suas células que apresentam uma forma quadrática, sendo tão larga quanto longa (Fig.2). Através de corte transversal do talo é possível visualizar sua bicamada de células, já que sua morfologia externa é muito semelhante às demais espécies deste gênero.

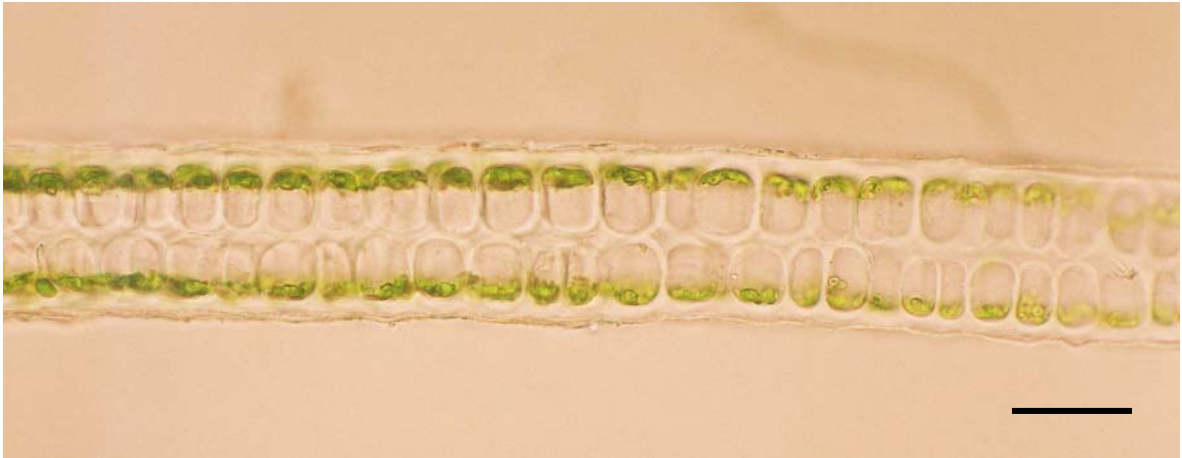


Fig.2 – Visualização em microscopia óptica da dupla camada de células de *Ulva lactuca* através de corte transversal do talo (escala 50 $\mu$ m).

De acordo com LARTIGUE *et al.* (2003), *U. lactuca* é uma espécie eurihalina, tolerando amplas variações de salinidade, sendo seu ponto de maior produção fotossintética em 25ppt.

Possui um ciclo de vida diplobionte (gametófito e esporófito) e isomórfico (mesma morfologia). Este ciclo envolve duas fases: uma gametofítica e outra esporofítica (Fig.3). Na fase gametofítica, plantas haplóides (n) originam gametas com dois flagelos. Os gametas se fundem formando um zigoto diplóide (2n). Este zigoto germina e dá origem a uma planta esporofítica (2n), a qual sofre um processo meiótico e libera esporos haplóides (n), com quatro flagelos. Estes esporos germinam e dão origem a plantas gametofíticas (n), completando o ciclo.

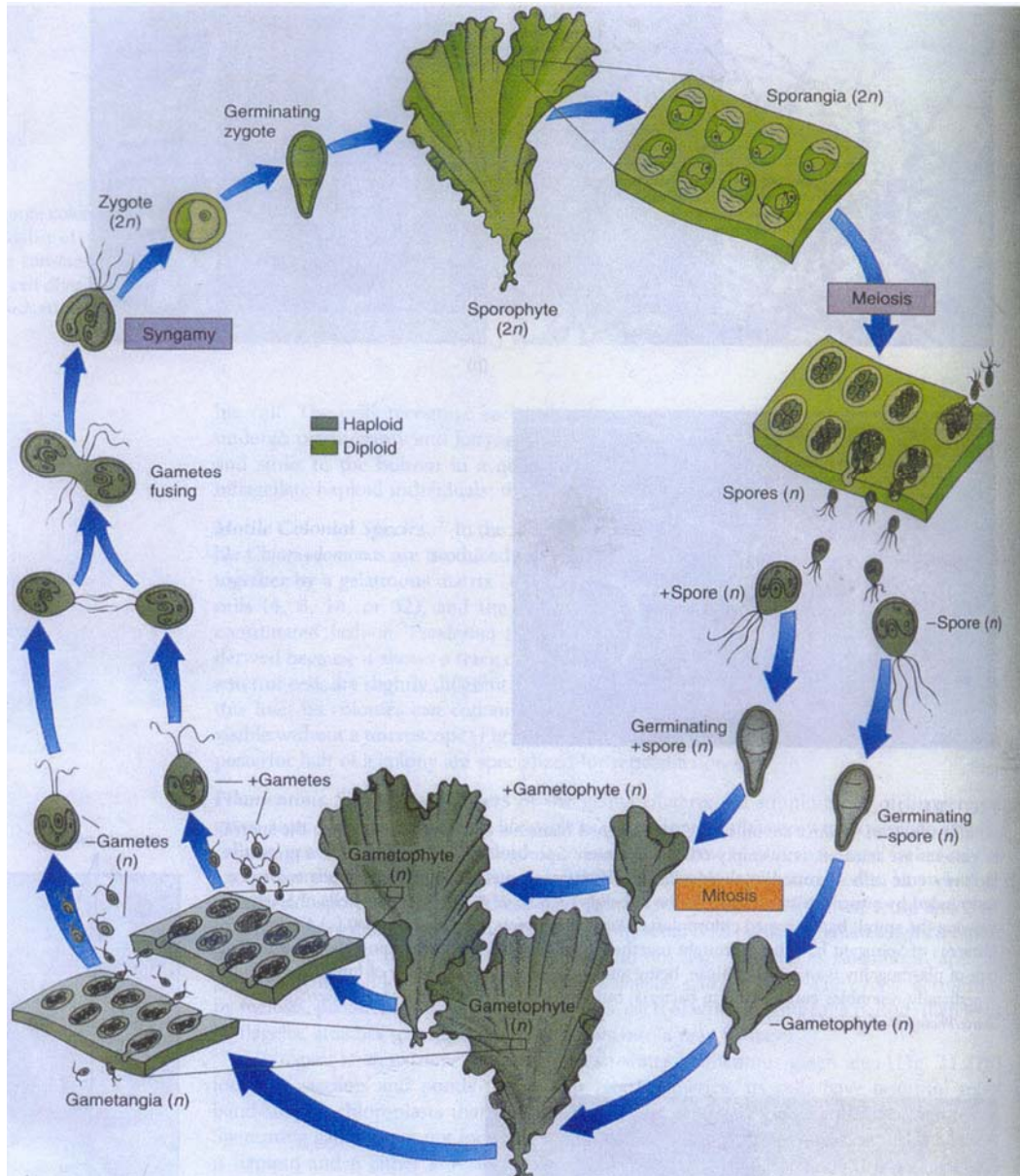


Fig.3 – Ciclo de vida da *Ulva* segundo MAUSETH (1995), distinguindo-se as fases gametofítica e esporofítica.

## **2. Produção fotossintética da macroalga *Ulva lactuca* (CHLOROPHYCEAE) cultivada em efluentes de camarões marinhos – subsídios para o cultivo integrado em fazendas brasileiras.**

### **2.1. Resumo**

A produção fotossintética de algumas espécies de macroalgas pode ser superior à sua demanda respiratória, tornando-se a principal fonte de oxigênio, suprindo cerca de 50 a 95% de todo o oxigênio disponível em viveiros com baixa renovação de água. A produção da fotossíntese está relacionada à salinidade, à disponibilidade de oxigênio, à temperatura e, principalmente, à intensidade luminosa. Este trabalho teve como objetivo avaliar a demanda de oxigênio através da produção fotossintética da macroalga *Ulva lactuca*, cultivada em efluentes da carcinicultura, submetida diretamente à intensidade da luz natural, em um fotoperíodo de 14/10 para a latitude de 27°S no mês de dezembro, e apontar o potencial de cultivo desta espécie integrada a sistemas fechados de recirculação em fazendas de camarões marinhos. Espécimes foram coletados na Lagoa da Conceição, Florianópolis, e transportados ao laboratório para seleção dos talos. Estes foram lavados em água doce corrente e em seguida, extraídos vários discos com diâmetro de 5cm, os quais foram secos em papel toalha e pesados em balança eletrônica. Utilizou-se 30 frascos Erlenmeyer de 500mL, previamente lavados em água destilada com 10% de ácido clorídrico. Cada frasco recebeu 500mL de água do canal de despesca de uma fazenda de camarões marinhos, contendo 32‰ de salinidade e, aproximadamente, 40 e 5 $\mu$ M de amônia e ortofosfato, respectivamente. O experimento contou de quatro tratamentos com alga e um sem alga, bem como de seus respectivos controles, todos compostos de três repetições. Os controles foram envolvidos com papel laminado. Os tratamentos receberam as seguintes densidades de material algal: 1=1g L<sup>-1</sup>, 2=2g L<sup>-1</sup>, 3=3g L<sup>-1</sup> e 4=4g L<sup>-1</sup>. Os frascos controle foram recobertos com papel laminado. Em um tanque plástico com 1000L de água, os tratamentos foram distribuídos ao acaso sobre uma mesa submersa, permitindo que 90% do volume dos frascos ficassem submersos. O experimento foi mantido sob renovação constante de água, mantendo a temperatura homogênea, em torno de 26°, em todos os recipientes. A cada hora, temperatura, luz e oxigênio dissolvido foram aferidos em todos os frascos, em um período de 27 horas. A produção fotossintética se iniciou a partir das 6:30h, onde se percebeu um aumento inicial das concentrações de oxigênio nos tratamentos com alga, enquanto todos os controles se mantiveram baixos até o final do experimento. Verificou-se um primeiro pico fotossintético por volta das 12:30h, onde a intensidade luminosa máxima foi de 1.424 lux, e uma fotoinibição da alga à exposição dos raios UV entre 12:30 e 15:30h. Constatou-se uma possível excreção de raios UV-B em densidades de 3 e de 4g L<sup>-1</sup> decorrentes do excesso da irradiação solar. Um segundo pico de produção de O<sub>2</sub>, entre 18:30 e 20:30h, nos quatro tratamentos com alga, resultaram em taxas superiores a 564% de supersaturação, a 490% em relação a sua fotorrespiração e a 150% em relação a supersaturação do fitoplâncton, revelando seu potencial de cultivo integrado com camarões marinhos em sistema fechado de recirculação.

## 2.2. Introdução

A fotossíntese em macroalgas clorófitas ocorre de forma semelhante ao mecanismo das plantas C<sub>3</sub>, onde a luz absorvida pelo conjunto de moléculas das clorofilas *a* e *b* possibilita a oxidação da molécula de água em oxigênio, convertendo energia luminosa em energia química e gerando a transferência de elétrons do Fotossistema II para o Fotossistema I, através da cadeia transportadora de elétrons (SALISBURY & ROSS, 1992). Na fotossíntese, tais macroalgas processam o CO<sub>2</sub> diretamente, através da enzima ribulose-1,5 bisfosfato carboxilase (Rubisco) nas células dos talos, produzindo um açúcar de três carbonos. A enzima Rubisco, além da atividade carboxilase, também apresenta atividade oxigenase, realizando o processo de fotorrespiração. Os Fotossistemas I e II, apesar de serem estruturalmente diferentes, cooperam entre si para a produção fotossintética, onde o primeiro requer comprimentos de onda inferiores a 700nm e o segundo, inferiores a 680nm (KIRK, 1994). Segundo WERLINGER & ALVEAL (1996), quando a faixa de intensidade luminosa ultrapassa o ponto de saturação e de fotossíntese máxima, ocorre o processo de fotoinibição, produzindo a inativação do aparelho fotossintético.

De acordo com KUBITZA (2003), é a partir da atividade fotossintética que as macroalgas geram energia e sintetizam outros compostos dissolvidos na água, os quais são importantes para o seu crescimento e reprodução. Segundo este autor, quando a fotossíntese supera a respiração por períodos prolongados, pode estar ocorrendo um excesso de material orgânico no sistema. COUTINHO & ZINGMARK (1993) relataram que a macroalga *Ulva curvata* pode apresentar uma produção fotossintética superior à sua demanda respiratória. KING & SCHRAMM (1976), LAPOINTE & TENORE (1981) e LAPOINTE & DUKE (1984) verificaram que o crescimento e a fotossíntese das macroalgas são regulados pelo nitrogênio inorgânico e pela luz.

Entretanto, o crescimento, o desenvolvimento e a permanência de espécies e comunidades algais dependem da interação com variáveis biológicas e ambientais. No ambiente natural, as macroalgas marinhas bênticas se distribuem desde o supralitoral até a profundidade onde a iluminação é suficiente para o processo fotossintético (WERLINGER & ALVEAL, 1996). Além da intensidade luminosa, outras condicionantes ambientais, como a turbulência, a variação de temperatura e de salinidade, podem interferir na produção fotossintética das macroalgas. Segundo VERGARA *et al.* (1997), a ressuspensão de sedimentos e a sobreposição da biomassa algal podem levar a uma considerável atenuação da luz para o processo fotossintético. Em *U. rotundata*, elevadas temperaturas induzem, a curto prazo, ao aumento da atividade fotossintética e respiratória da alga HENLEY (1992).

LARTIGUE *et al.* (2003), observaram que a macroalga *U. lactuca* alcança melhores taxas fotossintéticas em salinidades mais baixas, sendo a faixa ótima de 25ppt.

Segundo FLORETO *et al.* (1993), a relação da demanda de nutrientes, intensidade luminosa, temperatura e baixa salinidade são fatores que contribuem no crescimento de algas do gênero *Ulva*, tornando-as parceiros potenciais em cultivos integrados à carcinicultura marinha. Abundante no litoral brasileiro, *U. lactuca* pode otimizar, através de sistema fechado de recirculação, a disponibilidade de oxigênio nos viveiros de camarões marinhos. Segundo KUBITZA (2003), a fotossíntese supre cerca de 50 a 95% de todo o oxigênio disponível em viveiros com baixa renovação de água. Uma técnica usada para quantificar as propriedades ecofisiológicas da fotossíntese algal é a determinação das mudanças de oxigênio através de um monitoramento (CABELLO-PASINI *et al.*, 2000; HÄDER *et al.*, 2000 e LEVY *et al.*, 2004).

Segundo VILLARREAL *et al.* (1994), o limite mínimo de O<sub>2</sub> para a sobrevivência do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* é de 1,3mg de O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>. De acordo com estes autores, o oxigênio é considerado um dos parâmetros fundamentais em cultivos, fazendo parte dos processos metabólicos do animal, e está condicionado aos efeitos da temperatura e da salinidade. Em temperatura de 26°C e salinidade de 32ppt, a solubilidade do oxigênio é de 6,76mg de O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> (KUBITZA, 2003). Em fazendas com cultivo intensivo desta espécie e baixo potencial eólico, os gastos com energia elétrica para manter aeradores em funcionamento, objetivando sustentar faixas confortáveis de oxigênio dissolvido (acima de 4mg de O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) para os camarões, acabam elevando os custos de produção.

Este estudo teve como objetivo avaliar a demanda respiratória e a produção de oxigênio disponibilizado pela produção fotossintética da macroalga *U. lactuca*, cultivada em efluentes da carcinicultura. Considerando o oxigênio dissolvido um dos parâmetros fundamentais para o cultivo de camarões marinhos da espécie *L. vannamei*, este trabalho busca, portanto, averiguar o potencial de cultivo desta macroalga integrada às fazendas de camarões marinhos.

## **2.3. Materiais e métodos**

### **2.3.1. Coleta e preparo do material biológico**

O presente experimento foi realizado no Laboratório de Ficologia Aplicada (LAFICA), situado no Departamento de Aqüicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, sul do Brasil. *Ulva lactuca* foi coletada nos tanques de sedimentação da Estação de Piscicultura Marinha da Universidade Federal de Santa Catarina, junto à Lagoa da Conceição, município de Florianópolis.

O material coletado foi transportado em bandejas, sem água, até o Laboratório de Ficologia Aplicada. A seguir, foi previamente lavado em água doce corrente para eliminação de organismos indesejáveis. Os talos foram selecionados, destacando-se vários discos com diâmetro de 5cm. Para a determinação do peso úmido, os discos foram comprimidos em papel absorvente e pesados em balança eletrônica, marca Marte, mod. AL500.

### 2.3.2. Delineamento experimental

Para o delineamento experimental, foram utilizados 30 frascos Erlenmeyer de 500mL, previamente lavados em uma solução de água destilada com 10% de ácido clorídrico e enxaguados abundantemente com água destilada. Cada frasco recebeu 500mL de água do canal de pesca da Fazenda Batavia, situada no município de Biguaçu, distante 30km ao norte de Florianópolis, onde se cultiva camarões marinhos da espécie *Litopenaeus vannamei*. A água coletada apresentou uma salinidade de 32ppt e quantidades médias de amônia e ortofosfato em torno de  $40\mu\text{M}$  e  $5\mu\text{M}$ , respectivamente.

O experimento contou dos quatro tratamentos com alga em diferentes densidades e um sem alga, bem como de seus respectivos controles escuros. Todos os tratamentos foram compostos de três repetições (Fig.4). Os recipientes controle foram envolvidos com papel laminado para bloquear a ação da luz. Os tratamentos foram separados em quatro diferentes densidades ( $1=1\text{g L}^{-1}$ ,  $2=2\text{g L}^{-1}$ ,  $3=3\text{g L}^{-1}$  e  $4=4\text{g L}^{-1}$ ) recebendo as biomassas aproximadas de 0,5g, 1g, 1,5g e 2g de alga, respectivamente, ajustando-se à capacidade dos recipientes. Em seguida, estes frascos foram cobertos com uma película transparente de PVC.

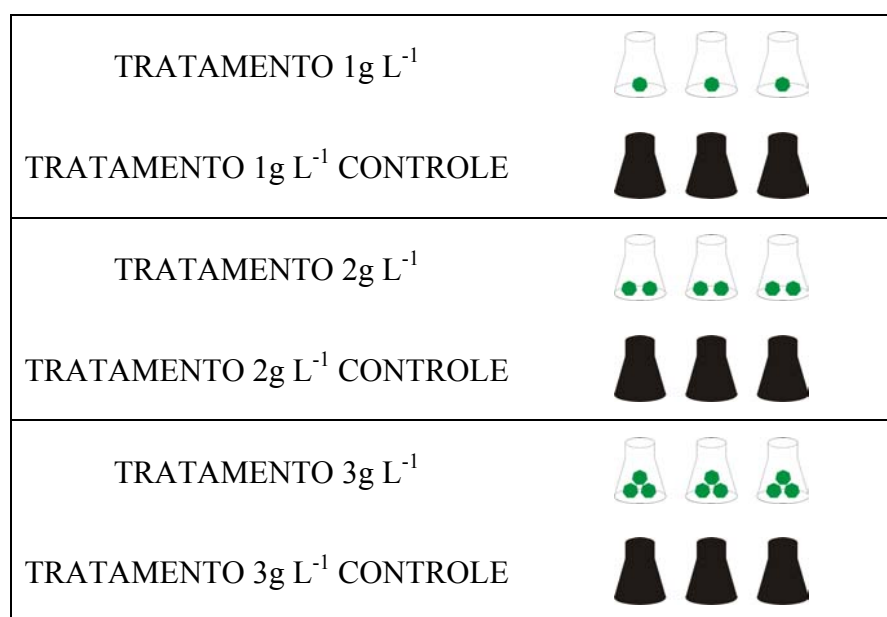






Fig.4 – Esquema do delineamento experimental. Os quatro primeiros tratamentos com suas densidades algais e seus respectivos controles. O último tratamento, sem alga, e o seu controle.

Em um tanque plástico, de seção circular, com capacidade de 1000L e pleno de água, os tratamentos foram distribuídos ao acaso sobre uma mesa submersa (Fig.5). Apenas 5cm da parte superior dos frascos de Erlenmeyer ficaram fora d'água. O experimento foi mantido sob renovação periódica de água, armazenada em reservatório subterrâneo, com o objetivo de conservar a temperatura estável (26°C, ±1). Do centro do delineamento experimental, a água foi distribuída regularmente, de maneira radial, mantendo homogênea e constante a temperatura em todos os recipientes.



Fig.5 – Delineamento experimental mostrando a distribuição dos frascos de Erlenmeyer

Para a tomada de temperatura, luz e oxigênio, foram utilizados, respectivamente, um termômetro de vidro com bulbo de mercúrio líquido, um luxímetro marca Lux Meter, mod. LX-101, e um oxímetro de fabricação alemã, marca Schott, mod. Handylab OX1/SET. O experimento teve início às 18:30h do dia 12 de dezembro de 2003 e se estendeu até às 21:30h do dia seguinte, correspondendo a um tempo total de 27 horas. A cada hora, temperatura e oxigênio dissolvido eram aferidos em todos os frascos. A intensidade luminosa foi verificada de hora em hora, entre às 6:30 e às 19:30h do dia 13 de dezembro. O fotoperíodo para esta época do ano, na latitude de 27°, é de 14:10.

### 2.3.3. Análise estatística e percentual de saturação de O<sub>2</sub>

Os tratamentos foram comparados através de uma análise de variância unifatorial ANOVA e as médias através do teste *t*. (ZAR, 1999). As análises estatísticas foram feitas através do programa “Statistica”, versão 99. O percentual de saturação de oxigênio foi calculado através da fórmula sugerida por KUBITZA (2003): % Saturação O<sub>2</sub>=(C<sub>a</sub> . C<sub>s</sub><sup>-1</sup>) . 100, onde C<sub>a</sub> é a concentração atual e C<sub>s</sub> é a concentração de saturação do oxigênio.

## 2.4. Resultados

### 2.4.1. Condições do tempo

Durante a realização do experimento, o tempo se apresentou chuvoso no decorrer do período noturno, mantendo a temperatura ambiente estável, em torno de 26°C. Durante o dia, o tempo se apresentou com sol pleno, onde a temperatura ambiente ultrapassou os 33°C. Às 7:30h a intensidade luminosa aferida foi de 807 lux. O período de maior intensidade luminosa foi registrado entre 10:30 e 15:30h, com uma média de 1.216 lux, sendo o horário das 12:30h o pico de máxima intensidade, com 1.424 lux. Durante a tarde, registrou-se para os horários de 16:30, 17:30, 18:30 e 19:30h, as respectivas intensidades de 1.109, 834, 647 e 401 lux.

### 2.4.2. Condições experimentais

Observou-se que a ativação do Fotossistema II da alga ocorreu a partir das 6:30h. Em todos os tratamentos com alga foi observado o maior pico de concentração de oxigênio ao final da tarde (médias superiores a 38mg de O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>), entre 18:30 e 19:30h, correspondendo a

um percentual de saturação superior a 500%. Isto ocasionou oscilação das medidas observadas no oxímetro, cujas faixas de supersaturação foram superiores à sensibilidade do aparelho.

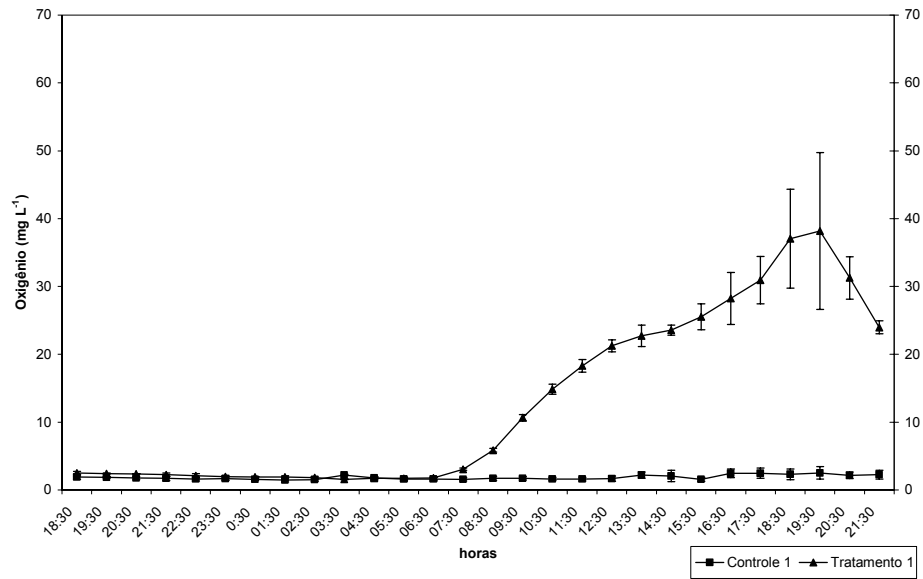
Constatou-se que a alga, em densidade de  $1\text{g L}^{-1}$ , manteve uma concentração média de  $2,00\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$  durante a noite. E seu respectivo controle apontou uma concentração média de  $1,87\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$ . Com relação à produção de fotossíntese, esta densidade algal mostrou uma relativa estabilização do aparelho fotossintético entre 12:30 e 15:30h, onde o valor médio da supersaturação de oxigênio nesta faixa horária foi de  $23,26\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$ . O pico da supersaturação de oxigênio foi registrado às 19:30h, alcançando uma média de  $38,17\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$ , correspondente a 564,64% (Fig.6.a).

A densidade de  $2\text{g L}^{-1}$  apresentou uma ligeira atenuação da produção fotossintética entre 13:30 e 15:30h, com uma média de supersaturação de  $31,21\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$ . Em seguida, outro crescimento exponencial na concentração de oxigênio foi registrado, atingindo o pico máximo às 18:30h, com supersaturação de  $50,67\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$ , equivalente a 749,55% (Fig.6.b). Durante a noite, a concentração de oxigênio nesta densidade foi mantida em torno de  $0,89\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$ . Seu respectivo controle apontou pequenas oscilações na demanda de oxigênio, registrando-se uma taxa média de  $1,47\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$ .

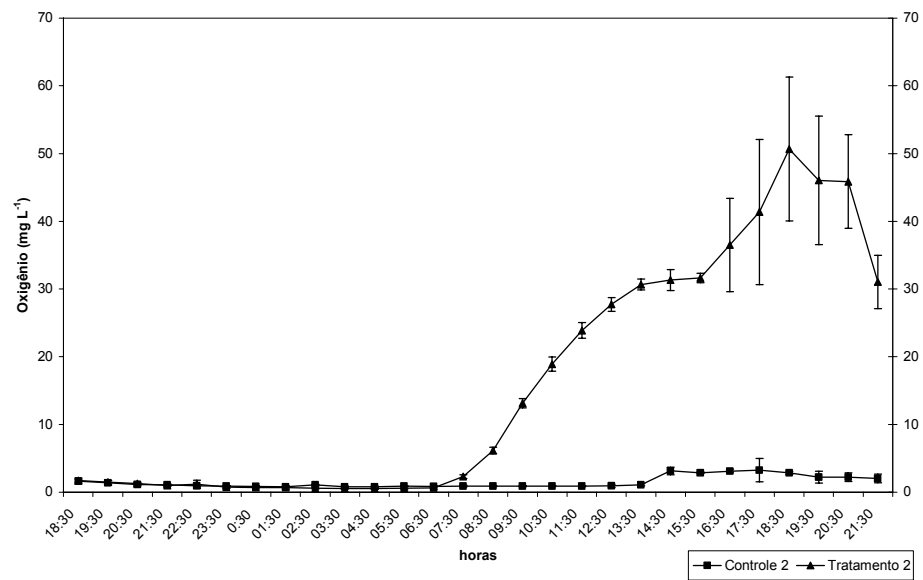
As densidades de 3 e de  $4\text{g L}^{-1}$  tiveram comportamentos muito semelhantes. Em ambos os tratamentos se registrou uma concentração média de  $0,67\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$ , no período entre as 18:30 e 6:30h. A produção fotossintética máxima ocorreu, respectivamente, às 12:30h, com concentração de  $36,00\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$  para o tratamento 3, e às 14:30h, com concentração de  $32,93\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$  para o tratamento 4. Constatou-se redução destas concentrações, em 9,25% para o tratamento 3, entre 12:30 e 15:30h, e em 5,68% para o tratamento 4, entre 14:30 e 15:30h (Fig.6.c e 6.d). Especificamente no tratamento 4, observou-se outra ligeira queda de 2,84% na concentração de oxigênio, entre as 17:30 e 18:30h (Fig. 6.d). O pico de produção de oxigênio, registrado no tratamento 3, foi de  $49,97\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$  (739,20%), às 18:30h (Fig.6.c). E no tratamento 4, foi de  $51,93\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$  (768,20%), às 19:30h (Fig.6.d). Em ambos os controles referentes a estes tratamentos, as taxas de oxigênio se mantiveram constantes ao redor de  $0,58$  e  $0,47\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$  nos tratamentos 3 e 4, respectivamente.

O tratamento sem alga obteve um certo incremento de oxigênio, onde se observou uma concentração máxima de  $14,68\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$  às 18:30 (Fig.6.e). O controle se manteve constante, apresentando uma concentração média de oxigênio de  $3,29\text{mg de O}_2\text{ L}^{-1}$ .

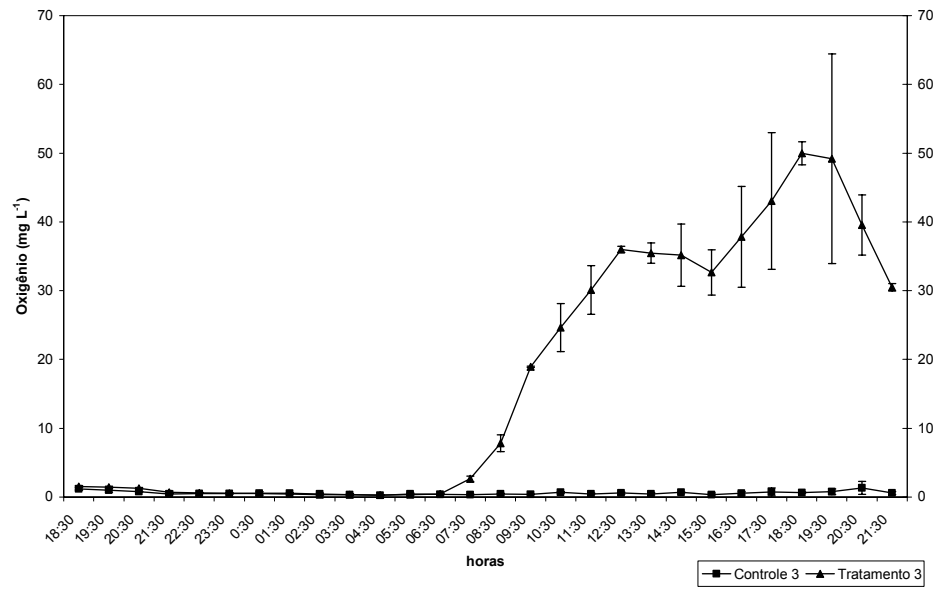
(a)



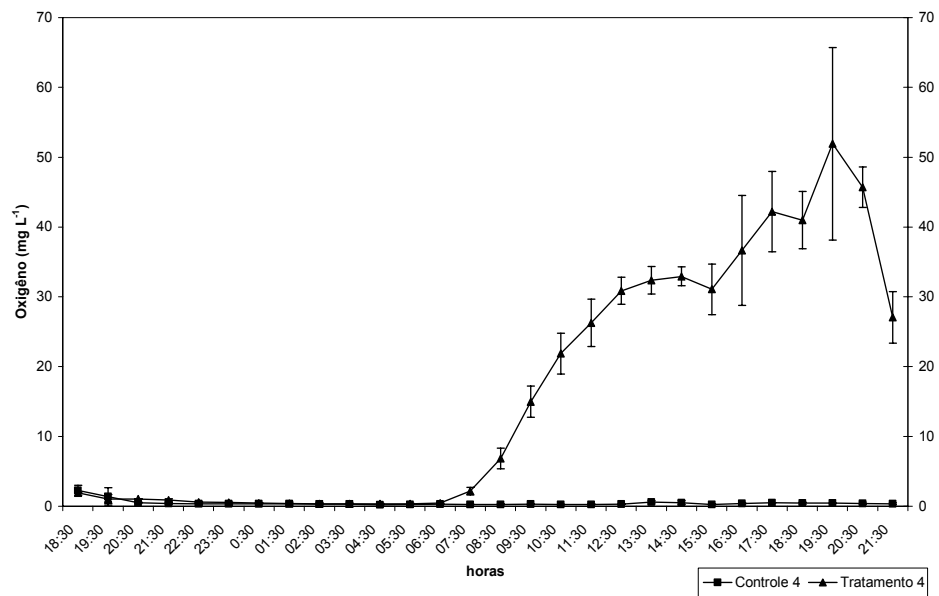
(b)



(c)



(d)



(e)

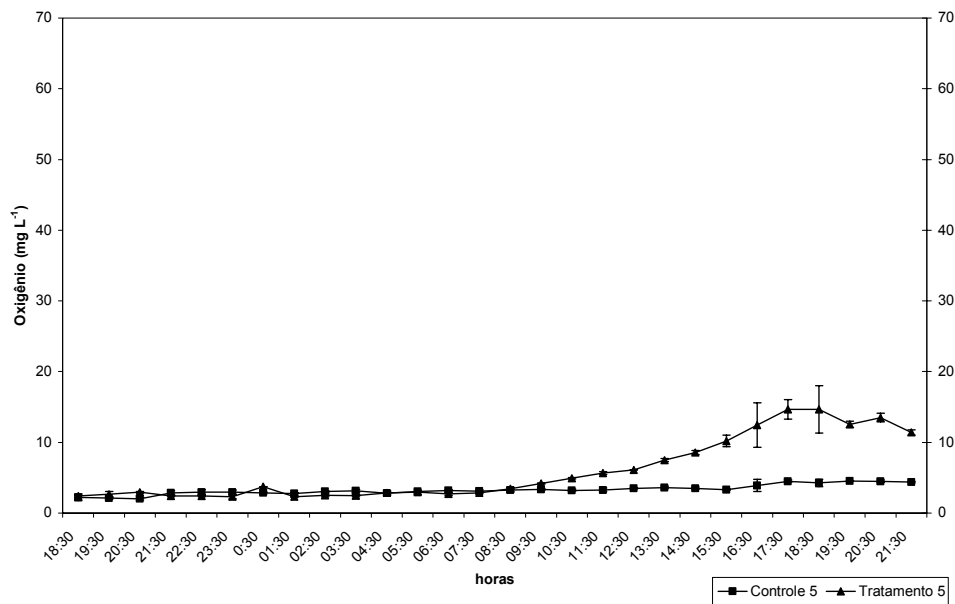


Fig.6 – Relação da demanda respiratória e da produção de oxigênio determinada pela taxa fotossintética da macroalga *Ulva lactuca*. As barras representam o desvio padrão dos tratamentos e seus respectivos controles. (a) Densidade algal = 1g L<sup>-1</sup>; (b) Densidade algal = 2g L<sup>-1</sup>; (c) Densidade algal = 3g L<sup>-1</sup>; (d) Densidade algal = 4g L<sup>-1</sup>; (e) Sem alga.

## 2.5. Discussão

Constatou-se com este trabalho que a radiação solar, nos horários próximos ao meio-dia, foi muito intensa, onde os efeitos dos raios UV-A e UV-B sobre *U. lactuca* puderam ser observados através da fotoinibição do aparelho fotossintético da alga. Esta inibição ou inativação ocorrida no Fotossistema II foi constatada em todos os tratamentos com alga, entre 12:30 e 15:30h, embora com menor efeito sobre o tratamento com baixa densidade (1g L<sup>-1</sup>). Este processo de fotoinibição tem sido reportado por vários autores, através de estudos com outras espécies de algas deste gênero, sugerindo uma redução reversível do transporte de elétrons no Fotossistema II, como forma de proteção do aparelho fotossintético sob irradiação excessiva, após a ocorrência de uma fotossíntese máxima (COUTINHO & ZINGMARK, 1993; HERNÁNDEZ *et al.*, 1997; VERGARA *et al.*, 1997; GROBE & MURPHY, 1998; ALTAMIRANO *et al.*, 2000; ALTAMIRANO *et al.*, 2000; CABELLO-PASINI *et al.*, 2000; GORDILLO *et al.*, 2001 e HAN *et al.*, 2003). Estudos realizados com *U. rigida* mostraram que a radiação excessiva de UV-B não só interferiu no processo

fotossintético da alga como também reduziu em 50% a taxa de crescimento desta espécie em apenas sete dias (ALTAMIRANO *et al.*, 2000). Entretanto, para que ocorra a fotossíntese máxima, é necessária a presença ou absorbância do raio UV-B (GROBE & MURPHY, 1998 e ALTAMIRANO *et al.*, 2000).

Nos tratamentos com densidades de 3 e de 4g L<sup>-1</sup>, a redução do oxigênio detectada imediatamente após a fotossíntese máxima, entre 14:30 e 15:30h, sugere uma possível inibição do fotossistema II resultado da irradiação excessiva e de raios UV. Este comportamento em relação aos raios UV-B tem sido observada nos estudos com *U. rigida* por ALTAMIRANO *et al.* (2000), onde ocorreu a redução dos valores de O<sub>2</sub> em consequência da saturação da luz no processo fotossintético. PÉREZ-RODRÍGUEZ *et al.* (1998) também constataram respostas significativas da macroalga *Dasycladus vermicularis* (Chlorophyta) quando exposta a níveis elevados de irradiação ultra-violeta. Segundo estes autores, estas macroalgas produzem substâncias, como os florotanos, que absorvem na faixa dos raios ultravioleta protegendo o interior da célula contra os efeitos nocivos dos respectivos comprimentos de onda. Estas substâncias são excretadas ou exudadas para o meio, um fenômeno de proteção do mecanismo fotossintético em resposta ao estresse da irradiação solar. Esse fenômeno de excreção ou exudação de florotanos, induzido pela irradiação UV-B foi observado na macroalga parda *Macrocystis integrifolia* por SWANSON & DRUEHL (2002).

As elevadas taxas de supersaturação de oxigênio observadas neste experimento foram decorrentes do impedimento da difusão do O<sub>2</sub> da água dos frascos de Erlenmeyer para o ar, devido às dimensões da abertura dos frascos e à cobertura com película de PVC. Os pontos de supersaturação máxima de oxigênio ocorridos em todos os tratamentos com alga, entre 18:30 e 20:30h, podem ter sido favorecidos pela predominância da faixa espectral da luz vermelha, contribuindo para uma melhor absorbância da faixa de 680nm pela clorofila *a* da alga, conferindo melhor atividade do Fotossistema II. Em estudos realizados com *U. curvata* e *U. rotundata*, VERGARA *et al.* (1997) constataram que, ao entardecer a reflectância da superfície da água aumenta o ângulo zenital das mudanças de irradiação incidente, favorecendo a predominância de uma faixa espectral vermelha, entre 600 e 700nm, justamente onde ocorre a absorbância pela clorofila *a* destas espécies algais. Provavelmente, este fator tenha contribuído na melhor performance fotossintética, proporcionando elevadas concentrações de O<sub>2</sub> ao final do dia.

Uma outra hipótese que pode justificar a supersaturação de oxigênio ao final da tarde é a ocorrência de um processo de histerese no mecanismo do Fotossistema II da alga, ou

seja, um atraso transitório do efeito fotossintético gerando uma inversão sobre a produção fotossintética. Estudos realizados com *Ulva* sp. revelaram um aumento significativo das taxas de transporte de elétrons durante a manhã e uma redução das mesmas durante a tarde (LEVY *et al.*, 2004). Por outro lado, estes autores constataram que o O<sub>2</sub> produzido pelas algas foi significativamente maior de tarde que de manhã, sugerindo um processo de histerese.

A super produção de O<sub>2</sub> pelas algas do gênero *Ulva* ao final do dia ainda é um fato bastante complexo. LOBBAN & HARRISON (1994) atribuem a supersaturação de oxigênio por essas algas ao final da tarde a uma possível interação com os fluxos de Mg<sup>2+</sup>. De qualquer forma, *U. lactuca* apresentou, em todas as densidades, uma supersaturação de oxigênio superior em 150% a supersaturação do fitoplâncton.

Com relação à respiração, as depleções de oxigênio observadas principalmente nos tratamentos com densidades de 3 e de 4g L<sup>-1</sup> são devidas à maior da biomassa algal empregada, bem como das reservas de carbono utilizadas pela alga para reduzir, através do processo fotorrespiratório, o excesso de energia produzida sob altos níveis de irradiação solar. GORDILLO *et al.* (2001) constataram que, em *U. rigida*, o aumento de CO<sub>2</sub> resulta em maior assimilação de N para produção de sua biomassa através do suprimento de carbono livre, afetando o balanço da relação C : N da alga, quando a mesma se encontra sob elevados níveis de irradiação. Segundo VERGARA *et al.* (1997) os valores acumulativos da taxa respiratória em *U. curvata* e em *U. rotundata* tendem a aumentar no verão e a diminuir no inverno.

As densidades de 1 e de 2g L<sup>-1</sup> apontaram melhores resultados de performance fotossintética, pois a resposta da fotoinibição ao estresse causado pela saturação de raios UV-A e UV-B foram menos marcantes que nos tratamentos com densidades maiores. Da mesma forma, os tratamentos com menor densidade algal apresentaram menores taxas respiratórias, resultantes da menor demanda metabólica, proporcionada pela menor biomassa. As densidades 1 e 2, comparadas ao controle sem alga, incrementaram a demanda de oxigênio em 42 e 56%, respectivamente, enquanto que as densidades 3 e 4, consumiram 81 e 84% a mais do referido gás, respectivamente (Fig. 6). Nas densidades de 3 e de 4g L<sup>-1</sup> ocorreu sobreposição dos talos algais, limitando o acesso à luz. DUKE *et al.* (1986) constataram que a estocagem de *Ulva*, onde ocorre a sobreposição do material, não aumenta o rendimento da alga devido à limitação da luz.



## 2.6. Considerações finais

Ficou constatado com este estudo que a macroalga *Ulva lactuca* pode representar um grande potencial de cultivo integrado às fazendas de camarões marinhos em sistema de recirculação, desde que as algas, evidentemente, estejam situadas em uma bacia de estabilização. A supersaturação de oxigênio gerada pela atividade fotossintética desta macroalga superou em muito a sua taxa de respiração. Este fato pode ser perfeitamente explorado para otimizar a disponibilidade de oxigênio dissolvido nos viveiros de camarões marinhos, procedendo-se uma circulação da água ao final do dia. Certamente, este procedimento contribuirá na manutenção, por tempo indeterminado, das faixas ótimas de oxigênio para o camarão, reduzindo o tempo de funcionamento dos aeradores e, conseqüentemente, minimizando os custos de produção através da redução dos gastos de energia elétrica. Com relação à densidade a ser utilizada, apesar dos valores de produção de oxigênio serem mais elevados na densidade de 3 g.L<sup>-1</sup>, a elevada demanda respiratória pode proporcionar ambiente anóxico durante a noite, promovendo o estresse da própria população algal empregada. Desta forma densidades menores entre 1 e 2 g.L<sup>-1</sup>, além de proporcionarem elevados teores de oxigênio durante o dia, consomem proporcionalmente pouco o referido gás durante a noite, favorecendo a manutenção dos talos.

## 2.7. Referências bibliográficas

ALTAMIRANO, M.; FLORES-MOYA, A.; CONDE, F. & FIGUEROA, F. L. 2000a. Growth seasonality, photosynthetic pigments, and carbon and nitrogen content in relation to environmental factors: a field study of *Ulva olivascens* (Ulvales, Chlorophyta). **Phycologia**, v.39, n.1, p.50-58.

ALTAMIRANO, M.; FLORES-MOYA, A. & FIGUEROA, F. L. 2000b. Long-term effects of natural sunlight under various ultraviolet radiation conditions on growth and photosynthesis of intertidal *Ulva rigida* (Chlorophyta) cultivated *in situ*. **Botanica Marina**, v.43, p.119-126.

CABELLO-PASINI, A.; AGUIRRE-von-WOBESER, E. & FIGUEROA, F. L. 2000. Photoinhibition of photosynthesis in *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyceae), *Condrus crispus* (Rhodophyceae) and *Ulva lactuca* (Chlorophyceae) in outdoor culture systems. **Journal of photochemistry and photobiology B: Biology**, n.57, p.169-178.

COUTINHO, R. & ZINGMARK, R. 1993. Interactions of light and nitrogen on photosynthesis and growth of the marine macroalga *Ulva curvata* (Kützing) De Toni. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, n.167, p.11-19.

DUKE, C. S.; LAPOINTE, B. E.; & RAMUS, J. 1986. Effects of light on growth, RuBPCase activity and chemical composition of *Ulva* species (Chlorophyta). **Journal of Phycology**, v.22, p.362-370.

FLORETO, E. A. T.; HIRATA, H.; ANDO, S. & YAMASAKI, S. 1993. Effects of temperature, light intensity, salinity and source of nitrogen on the growth, total lipid and fatty acid composition of *Ulva pertusa* Kjellman (Chlorophyta). **Botanica Marina**, n.36, p.149-158.

GORDILLO, F. J. L.; NIELL, F. X. & FIGUEROA, F. L. 2001. Non-photosynthetic enhancement of growth by high CO<sub>2</sub> level in the nitrophilic seaweed *Ulva rigida* C. Agardh (Chlorophyta). **Planta**, n.213, p.64-70.

GROBE, C. W. & MURPHY, T. M. 1998. Solar ultraviolet-B radiation effects on growth and pigment composition of the intertidal alga *Ulva expansa* (Setch.) S. & G. (Chlorophyta). **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, n.225, p.39-51.

HÄDER, D. P.; PORST, M. & LEBERT, M. 2000. On site photosynthetic performance of Atlantic green algae. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, n.57, p.159-168.

HAN, T.; HAN, Y. S.; KIM, K. Y.; KIM, J. H.; SHIN, H. W.; KAIN, J. M.; CALLOW, J. A. & CALLOW, M. E. 2003. Influences of light and UV-B on growth and sporulation of the green alga *Ulva pertusa* Kjellman. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, n.290, p.115-131.

HENLEY, W. J. 1992. Growth and photosynthesis of *Ulva rotundata* (Chlorophyta) as a function of temperature and square wave irradiance in indoor culture. **Journal of Phycology**, v.28, p.625-634.

HERNÁNDEZ, I.; PERALTA, G.; PÉREZ-LLORENS, J. L.; VERGARA, J. J. & NIEL, F. X. 1997. Biomass and growth dynamics of *Ulva* species in Palmones river estuary. **Journal of Phycology**, n.33, p.764-772.

KING, R. J. & SCHRAMM, W. 1976. Photosynthetic rates of benthic marine algae in relation to light intensity and seasonal variations. **Mar. Biol.**, n.37, p.215-222.

KIRK, J. T. O. 1994. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2.ed., Cambridge: Cambridge University Press, 509p.:il.

KUBITZA, F. 2003. **Qualidade da água no cultivo de peixes e camarões**. Jundiaí: F. Kubitza, 229p.:il.

LAPOINTE, B. E. & TENORE, K. R. 1981. Experimental outdoor studies with *Ulva fasciata* Dalile. I. Interaction of light and nitrogen on nutrient uptake, growth, and biochemical composition. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, v.53, p.135-152.

LAPOINTE, B. E. & DUKE, C. S. 1984. Biochemical strategies for growth of *Gracilaria tikvahiae* (Rhodophyta) in relation to light intensity and nitrogen availability. **Journal of Phycology**, n.20, p.488-495.

- LARTIGUE, J.; NEILL, A.; HAYDEN, B. L.; PULFER, J. & CEBRIAN, J. 2003. The impact of salinity fluctuations on net oxygen production and inorganic nitrogen uptake by *Ulva lactuca* (Chlorophyceae). **Aquatic Botany**, n.75, p. 339-350.
- LEVY, O.; DUBINSKY, Z.; SCHNEIDER, K.; ACHITUV, Y.; ZAKAI, D. & GORBUNOV, M. Y. 2004. Diurnal hysteresis in coral photosynthesis. **Marine Ecology Progress Series**, v.268, p.105-117.
- LOBBAN, C. S. & HARRISON, J. P. 1994. **Seaweed ecology and physiology**. Cambridge: Cambridge University Press, 366p.:il.
- PÉREZ-RODRÍGUEZ, E.; GÓMEZ, I.; KARSTEN, U. & FIGUEROA, F. L. 1998. Effects of UV radiation on photosynthesis and excretion of UV-absorbing compounds of *Dasycladus vermicularis* (Dasycladales, Chlorophyta) from southern Spain. **Phycologia**, v.37, n.5, p.379-387.
- SALISBURY, F. B. & ROSS, C. W. 1992. **Plant physiology**. 4.ed., Belmont, California (USA): Wadsworth Publishing Company, 682p.:il.
- SWANSON, A. K. & DRUEHL, L. D. 2002. Induction, exudation and the UV protective role of kelp phlorotannins. **Aquatic Botany**, n.73, p.241-253.
- VERGARA, J. J.; PÉREZ-LLORENS, J. L.; PERALTA, G.; HERNÁNDEZ, I. & NIELL, F. X. 1997. Seasonal variation of photosynthetic performance and light attenuation in *Ulva* canopies from Palmones river estuary. **Journal of Phycology**, n.33, p.773-779.
- VILLARREAL, H.; HINOJOSA, P. & NARANJO, J. 1994. Effect of temperature and salinity on the oxygen consumption of laboratory produced *Penaeus vannamei* postlarvae. **Comp. Biochem. Physiol.**, v.108A, n.2/3, p.331-336.
- WERLINGER, C. & ALVEAL, K. 1996. Macroalgas de interés económico: cultivo, manejo, industrialización. In: FERRARIO, M. & SAR, E. (Eds.) **Influencias de factores abióticos en el cultivo de algas**. La Plata (Argentina): Universidad Nacional de la Plata, p.199-228.
- ZAR, J. H. 1999. **Biostatistical analysis**. 4.ed. New Jersey: Upper Saddle River.,

### 3. TRATAMENTO DE EFLUENTES DO CULTIVO DO CAMARÃO BRANCO *Litopenaeus vannamei* (BOONE, 1931) COM A MACROALGA *Ulva lactuca* LINNEAUS (CHLOROPHYTA) EM SISTEMA FECHADO DE RECIRCULAÇÃO.

#### 3.1. Resumo

Sistemas de recirculação, integrando macroalgas e camarões marinhos, parecem apontar uma alternativa para mitigar possíveis impactos gerados pela carcinicultura brasileira e estimular o policultivo. Desta forma, este trabalho objetivou explorar o potencial da macroalga *Ulva lactuca*, estimando-se uma densidade adequada para avaliar, em escala piloto, o cultivo integrado com o camarão marinho *Litopenaeus vannamei*, em sistema fechado de recirculação, no sul do Brasil. *U. lactuca* foi coletada em um tanque de decantação do Laboratório de Piscicultura Marinha, Universidade Federal de Santa Catarina, e cultivada durante três dias em recipientes de Erlenmeyer de 500mL, sob condições controladas de laboratório, contendo água de efluentes de uma fazenda de camarões marinhos nas concentrações de 41,20 e 5,07 $\mu$ M de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, respectivamente. Densidades de 1, 2, 3, 4 e 5g L<sup>-1</sup> foram empregadas, obtendo-se TCR (Taxa de Crescimento Relativo) de 8,76  $\pm$  1,43; 7,33  $\pm$  0,28; 7,48  $\pm$  0,45; 6,88  $\pm$  0,27 e 6,29  $\pm$  0,66% dia<sup>-1</sup> e concentrações finais de 4,93  $\pm$  1,22; 3,80  $\pm$  0,66; 2,67  $\pm$  0,15; 3,03  $\pm$  0,25 e 5,00  $\pm$  0,69 $\mu$ M de amônia e 1,36  $\pm$  0,71; 1,63  $\pm$  0,60; 0,55  $\pm$  0,08; 0,81  $\pm$  0,34 e 1,62  $\pm$  0,72 $\mu$ M de ortofosfato, respectivamente. A relação mais adequada para uso desta alga em sistema integrado com camarões marinhos, obtida com este estudo foi de 1,5 a 2g L<sup>-1</sup>.

Na segunda etapa deste trabalho, *U. lactuca* coletada no mesmo local do experimento anterior, foi empregada com densidades de 2g L<sup>-1</sup> em sistema fechado de recirculação com camarões marinhos da espécie *L. vannamei*, mantendo-se, inicialmente, uma salinidade de 15ppt. Utilizou-se camarões com peso médio de 6g, distribuídos em seis tanques de 500L, com densidades de 41 indivíduos cada. As algas foram cultivadas em 3 tanques de 250L, compondo o fator camarão e alga. Outros 3 tanques de 250L foram utilizados para compor o fator camarão sem alga. O experimento foi realizado sob as condições naturais do ambiente, processando-se uma recirculação diária de 6%. Os camarões foram alimentados em bandeja, uma vez ao dia, com uma ração de 35% de proteína bruta (mín.) e 1,45% de fósforo (mín.). Após duas semanas, a TCR das algas foi de 1,47  $\pm$  0,97% dia<sup>-1</sup>, observando-se fragmentação e apodrecimento parcial dos talos. A biomassa foi substituída e a densidade reduzida para 1,5g L<sup>-1</sup>. Após duas semanas, a TCR obtida foi de 1,57  $\pm$  1,18% dia<sup>-1</sup> com apresentação dos mesmos sintomas. A biomassa foi novamente substituída, mantendo-se a densidade de 1,5g L<sup>-1</sup>, e a salinidade foi aumentada para 21ppt, através de renovação de 30% da água do sistema. Obteve-se uma melhora substancial do aspecto dos talos e uma TCR de 3,32  $\pm$  0,49% dia<sup>-1</sup>. Não foi constatado diferença significativa de ganho em peso entre os camarões cultivados nos sistemas com alga e sem

alga. Amostras de água foram coletadas semanalmente para análise de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{P-PO}_4^{3-}$ , cujos resultados foram obtidos através da leitura das absorvâncias em espectrofotometria. *U. lactuca* reduziu em 94% as concentrações de amônia e em 39,5% as concentrações de ortofosfato emitidas pelos camarões no sistema fechado de recirculação.

### 3.2. Introdução

O conceito de aquicultura integrada entre macroalgas e peixes marinhos vem sendo amplamente estudado na Europa, em Israel, nos Estados Unidos, e no Chile (HARLIN *et al.*, 1978; VANDERMEULEN & GORDIN, 1990; NEORI *et al.*, 1991; ELLNER *et al.*, 1996; JIMÉNEZ DEL RÍO *et al.*, 1996; NEORI & SHPIGEL, 1999; PAGAND, 1999; NEORI *et al.*, 2000; PAGAND *et al.*, 2000; CHOPIN *et al.*, 2001; CHOW *et al.*, 2001; NEORI *et al.*, 2003; PORRELLO *et al.*, 2003; SHUENHOFF *et al.*, 2003 e NEORI *et al.*, 2004). Por outro lado, ainda são poucos os estudos relacionados ao fitotratamento da carcinicultura marinha. As fazendas de camarão marinho vêm se multiplicando consideravelmente nos últimos anos, tanto no sul como no nordeste brasileiro. E com o crescimento desta atividade, bastante importante para o desenvolvimento da aquicultura no Brasil, aumenta também a preocupação na busca de alternativas que primem pela redução dos nutrientes presentes na composição dos efluentes do respectivo processo de produção. Esses nutrientes são derivados, principalmente, do excesso de ração, dos fertilizantes empregados na adubação dos viveiros e dos produtos metabólicos produzidos pelos camarões em cultivo (NUNES, 2002).

Sistemas fechados de recirculação são recomendados para minimizar eventuais impactos aos ecossistemas adjacentes às fazendas, pois reduzem extraordinariamente as taxas de renovação de água dos sistemas de cultivo e conseqüentemente o seu descarte. Através deste sistema é possível estabelecer um controle dos parâmetros físico-químicos da qualidade da água, evitando-se a contaminação por agentes externos eventualmente presentes nas fontes de captação. Entretanto, a recirculação da água pode produzir uma concentração de nutrientes, que em muitas vezes leva à eutrofização do sistema, gerando uma série de alterações dos parâmetros da água, como por exemplo, uma redução do oxigênio disponível (PAGAND, 1999).

Nestes casos, as macroalgas podem agir como poderosos biofiltros destes efluentes, pois através da atividade fotossintética, elas proporcionam a assimilação dos nutrientes dissolvidos na água (NELSON *et al.*, 2001 e FONSECA *et al.*, 2002). Desta forma, a utilização das macroalgas como biofiltros possibilita a reutilização integral dos efluentes gerados, proporcionando uma melhora na qualidade da água dos sistemas de produção.

Experimentos realizados na França por PAGAND (1999) e PAGAND *et al.* (2000), utilizando macroalgas do gênero *Ulva* integradas à piscicultura marinha, demonstraram eficiência no tratamento de efluentes em um sistema de recirculação. Em Israel, vários estudos demonstraram o sucesso da macroalga *U. lactuca* como biofiltro na simulação de

modelos de recirculação e de semi-recirculação para piscicultura marinha intensiva de *Sparus aurata* (ELLNER *et al.*, 1996; NEORI *et al.*, 1991; NEORI & SHPIGEL, 1999; NEORI *et al.*, 2000; NEORI *et al.*, 2003 e SCHUENHOFF *et al.*, 2003), mitigando os impactos causados pelas cargas de nutrientes. Todos os trabalhos avaliados apresentaram resultados animadores, reduzindo consideravelmente as altas concentrações de amônia e nitrogênio total destes sistemas e revelando o potencial que *U. lactuca* pode oferecer aos cultivos de camarões marinhos no Brasil através de sistemas fechados de recirculação.

Na Itália, PORRELLO *et al.* (2003) observaram significativa redução de nutrientes oriundos da piscicultura intensiva em tanques de terra através do fitotratamento, utilizando a macroalga *Ulva rigida*. Segundo FRALICK *et al.* (1979); VANDERMEULLEN & GORDIN (1990), o emprego da *Ulva* sp. como biofiltro tem sido indicado como um eficiente método de recuperação de ambientes com grandes quantidades de nitrogênio inorgânico dissolvido.

A flutuação da salinidade nas áreas de cultivo de camarões peneídeos no sul do Brasil é bastante alta. Esta condição exige uma alga que seja resistente e eurihalina, capaz de se adequar às situações de cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei*, em sistema fechado de recirculação. GAYRAL & COSSON (1986) demonstraram que as macroalgas do gênero *Ulva* são capazes de suportar grandes variações de salinidade, obtendo boas taxas de crescimento. LARTIGUE *et al.* (2003) constataram que *U. lactuca* mantém sua capacidade de assimilação de compostos nitrogenados, mesmo quando exposta frequentemente, por tempo prolongado, a amplas variações de salinidade, devido às suas reservas suficientes de energia e carbono. RUNCIE *et al.* (2003) observaram que *U. lactuca* absorve rapidamente a amônia, o nitrito e o nitrato, em concentrações saturadas, devido ao seu eficiente sistema de transporte celular. Além de absorver e metabolizar rapidamente o nitrogênio, *U. lactuca* apresenta talos bastante resistentes às condições de estresse ambiental, baixa vulnerabilidade ao epifitismo e taxa de crescimento elevada (JIMÉNEZ DEL RÍO *et al.*, 1996 e NEORI *et al.*, 2000).

O presente estudo teve como objetivo avaliar em escala piloto, o crescimento e a capacidade de remoção de nutrientes da espécie *U. lactuca* em sistema fechado de recirculação sob condições de cultivo do camarão marinho *L. vannamei* no sul do Brasil. Para isso, buscou-se estimar *in vitro* uma densidade adequada para a realização do referido cultivo, relacionando a taxa de crescimento com a remoção dos nutrientes ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

### 3.3. Materiais e Métodos

#### 3.3.1. Coleta do material biológico

*Ulva lactuca* foi coletada no tanque de decantação do Laboratório de Moluscos Marinhos da Universidade Federal de Santa Catarina, situado na Barra da Lagoa (27° 34' 36''S, 48° 26' 49''W), município de Florianópolis, sul do Brasil. A primeira coleta, com uma biomassa aproximada de 1kg, foi destinada à primeira etapa experimental, objetivando estabelecer uma relação entre a densidade de alga e a eficiência de remoção de amônia e fósforo. As coletas seguintes contaram com volumes aproximados de 3kg e destinaram-se ao experimento de recirculação. Os espécimes coletados foram transportados em bandejas aos seus respectivos locais de estudo para serem imediatamente utilizados.

#### 3.3.2. Determinação da densidade de *Ulva lactuca*

##### 3.3.2.1. Preparo do material biológico

Para a determinação da densidade a ser utilizada no experimento de recirculação, realizou-se experimento *in vitro* nas instalações do Laboratório de Algas Marinhas da Universidade Federal de Santa Catarina. Para tanto, selecionou-se os talos de algas da primeira coleta, os quais foram lavados em água do mar corrente, cortados em circunferências de 3cm de diâmetro e limpos com auxílio de um pincel.

##### 3.3.2.2. Delineamento experimental

As algas foram secadas em papel absorvente para aferir o peso úmido. Utilizou-se uma balança eletrônica, marca Marte, modelo AS-1000, com duas casas decimais para pesagem da biomassa algal. Foram estabelecidas cinco densidades (tratamentos) compostas cada uma por três repetições. As densidades utilizadas neste delineamento experimental foram de 1, 2, 3, 4 e 5 gramas de alga por litro. Utilizou-se recipientes de Erlenmeyer de 500mL, os quais contaram com as seguintes médias de peso em gramas de alga por litro, respectivamente: tratamento 1 =  $0,51 \pm 0,02$ ; tratamento 2 =  $0,99 \pm 0,02$ ; tratamento 3 =  $1,51 \pm 0,01$ ; tratamento 4 =  $2,00 \pm 0,01$  e tratamento 5 =  $2,50 \pm 0,01$ . Os recipientes de Erlenmeyer foram anteriormente deixados durante duas horas em solução de água e sabão neutro, lavados com



escova, enxaguados por dez vezes em água corrente e uma vez em água destilada, e secados em estufa a 150°C por três horas.

A água utilizada para compor o design experimental foi coletada dos efluentes de uma fazenda de camarões marinhos, localizada no município de Biguaçu (27° 25' 29"S, 48° 37' 02"W), distante aproximadamente 40km do local do experimento. Coletou-se 15 litros de água e transportou-se o volume em um galão plástico. A salinidade da água, verificada através de um refratômetro da marca Aquafauna, modelo ABMNC, foi de 22ppt.

Os recipientes de Erlenmeyer com água dos efluentes, após receberem as suas densidades algais, foram tampados com uma película de PVC transparente e distribuídos aleatoriamente em prateleiras na sala da cultura do laboratório. O experimento foi mantido por três dias sob condições controladas: intensidade luminosa de 550 LUX, fotoperíodo 12/12, temperatura de 23°C e sem aeração. Os recipientes de Erlenmeyer foram agitados suavemente por 30 segundos, de 4 a 5 vezes ao dia, para garantir uma superfície de contato entre as algas e os nutrientes. Uma amostra de 200mL da água coletada na fazenda e outra de cada Erlenmeyer ao final do experimento foram acondicionadas em frascos de polietileno e postas imediatamente para congelar em freezer a -10°C. Estes frascos foram previamente deixados por duas horas em solução de 10% de HCl e 90% de água destilada, enxaguados abundantemente em água destilada e secados em estufa a 60°C por três horas.

### 3.3.3. Sistema fechado de recirculação

#### 3.3.3.1. Delineamento experimental

O experimento contou de dois tratamentos, cada qual com três réplicas, de modo a apresentar um design com dois fatores: (a) tratamento com camarões e algas e (b) tratamento com camarões sem algas (Fig.7).

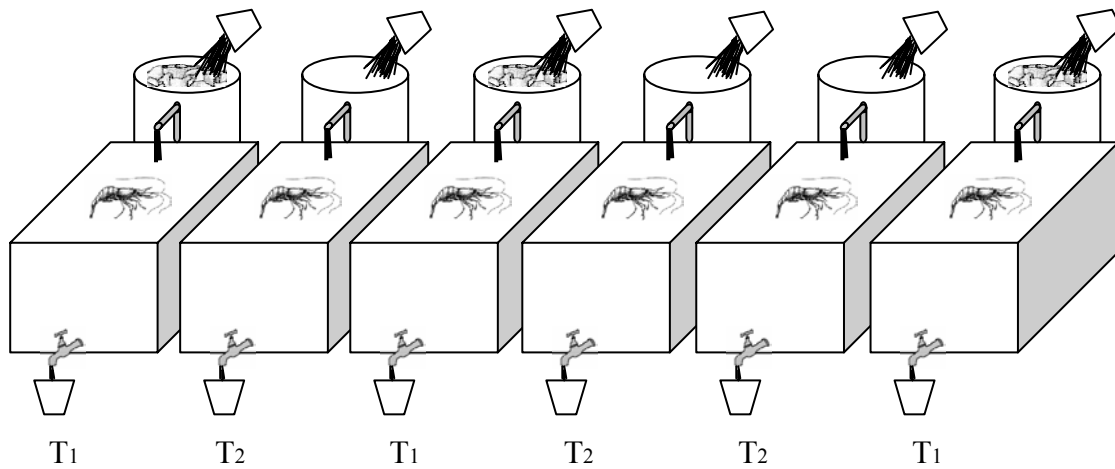


Fig.7 – Esquema de funcionamento do delineamento experimental em sistema fechado de recirculação e disposição dos tratamentos. T1 é o tratamento com alga e T2 é o tratamento sem alga.

Foram utilizados seis tanques retangulares de fibra, com área de 1,40m<sup>2</sup> e capacidade de 500L, preparados para receberem os camarões. Uma torneira foi adaptada a 15cm da base de cada tanque para proceder a recirculação (Fig.7). A 10cm da parte superior estes tanques receberam um extravasador com tela de nylon, de malha de 1mm<sup>2</sup>, para eliminar excessos de água provenientes de chuvas. Os demais tanques, em amianto, de seção circular, com área de 0,57m<sup>2</sup> e capacidade de 250L, foram denominados “tanques de estabilização”. Estes foram pintados internamente com tinta preta atóxica, uma semana antes da montagem do experimento. Um cano de ¾” com 40cm de altura, saindo a 15cm da base de cada um destes tanques foi adaptado para lançar a água por gravidade aos tanques dos camarões durante a recirculação e no momento de chuvas (Fig.7).

O design experimental foi montado ao lado do Laboratório de Moluscos Marinhos, próximo ao local de coleta das algas. Todos os tanques receberam uma camada de ±10cm de substrato argiloso, de composição desconhecida, cujo material foi coletado de um dos viveiros de uma fazenda de camarões marinhos em implantação no município de Governador Celso Ramos (27° 22’ 04’’S, 48° 36’ 48’’W).

Os tanques foram cheios com cerca de 44% de sua capacidade em água do mar filtrada com filtro de 5 micras e esterilizada em raio U.V., sendo completados com água doce potável até o ajuste da salinidade em ±15ppt. Após o primeiro mês do experimento a salinidade do sistema foi elevada para ±21ppt. O aumento da salinidade foi feito através de uma renovação

da água do sistema. Substituiu-se 30% do volume de cada tanque por água do mar a 34ppt igualmente filtrada e esterilizada. O experimento foi realizado entre abril e junho de 2004, sob as condições naturais do ambiente, mantido em aeração constante.

### 3.3.3.2. Povoamento dos tanques

#### 3.3.3.2.1. Tanques retangulares

Um mês após a montagem do sistema, tempo necessário para a adequação e estabilização das condições de cultivo, cada tanque recebeu uma população de 41 camarões, adequando-se à densidade máxima de 30 indivíduos  $m^{-2}$ , em concordância com a legislação pertinente ao Estado de Santa Catarina (SOUZA FILHO *et al.*, 2003). Os camarões foram coletados em 11 de abril de 2004 na Fazenda Batávia, município de Biguaçu (27° 25' 29"S, 48° 37' 02"W). Foram capturados aproximadamente 2kg de camarões de um dos viveiros da fazenda com auxílio de uma tarrafa, sendo transportados imediatamente ao local do experimento em uma caixa de isopor com 30L de água local, mantidos sob aeração portátil constante. Os camarões foram pesados individualmente, em balança eletrônica, marca Marte, modelo LC-1, com uma casa decimal, e distribuídos proporcionalmente até a quantia de 41 indivíduos por tanque.

#### 3.3.3.2.2. Tanques circulares

Após cinco dias de funcionamento do sistema com os camarões, a espécie *Ulva lactuca* coletada foi lavada abundantemente em água do mar filtrada (filtro de 5 micras) e esterilizada em raio U.V. Selecionou-se os talos que apresentaram maior resistência e melhor aspecto físico para compor o tratamento com alga. Os tanques deste tratamento receberam, inicialmente, uma biomassa de 500g (peso úmido) de *Ulva lactuca*, equivalente a uma densidade de 2g  $L^{-1}$  ou aproximadamente a 1kg  $m^{-2}$ . Após duas semanas o experimento teve toda a biomassa de *U. lactuca* substituída e reduzida para 375g por tanque (densidade de 1,5g  $L^{-1}$ ), testando-se os melhores resultados obtidos no experimento de densidade citado anteriormente. Para evitar que as algas se depositassem no fundo, uma tela plástica com malha de 1cm<sup>2</sup>, no diâmetro equivalente ao dos tanques, foi fixada a 15cm abaixo da superfície da água. No segundo mês de experimento, já com a salinidade elevada de 15 para 21ppt, os tanques de alga foram repovoados, mantendo-se a densidade de 375g.

### 3.3.3.3. Pesagem das algas

As pesagens das algas foram feitas semanalmente em uma balança digital da marca Marte, modelo A1000, com duas casas decimais. Para proceder as pesagens, as algas foram retiradas dos tanques e colocadas sobre uma tela de nylon com malha sextavada de 3mm de diâmetro. O material biológico foi envolvido pela tela, e rotacionado manualmente por um minuto, de forma a promover uma força centrífuga capaz de eliminar o excesso de água para se aferir o peso úmido. A cada pesagem, o excesso era retirado para manter a densidade desejada.

### 3.3.3.4. Alimentação dos camarões

Os camarões foram alimentados diariamente, uma vez ao dia. Confeccionou-se, artesanalmente, uma bandeja com fundo em tela de nylon com malha de 1mm<sup>2</sup> para cada tanque de camarões, cujo objetivo destinou-se ao controle do arraçoamento. Em cada bandeja foram depositados inicialmente cerca de 6 gramas diárias de ração. Este volume foi sendo aumentado no decorrer do experimento, de acordo com a demanda de consumo observada, chegando a  $\pm 10$  gramas por tanque. Os camarões foram alimentados sempre no período da manhã.

Foi utilizada no arraçoamento uma ração extrusada da marca Guabi (Potimar 35 EXT) com os seguintes níveis de garantia (por quilograma do produto) na sua composição nutricional: umidade (máx.) 13%, proteína bruta (mín.) 35%, extrato etéreo (mín.) 7,50%, fibra bruta (máx.) 5%, matéria mineral (máx.) 13%, cálcio (máx.) 3%, fósforo (mín.) 1,45%, vitamina A (UI) 4.000, vitamina D3 (UI) 2.000, vitamina E (UI) 150 e vitamina C (mg) 130.

### 3.3.3.5. Análise de microalgas

Durante a fase final do experimento, uma amostra com  $\pm 30$ mL de água foi coletada de cada tanque dos camarões para identificar e quantificar a presença de fitoplâncton no sistema de recirculação. As amostras coletadas foram levadas imediatamente ao Laboratório de Moluscos Marinhos da Universidade Federal de Santa Catarina para análise. A leitura das células foi realizada através de um contador de partículas, marca Colnter-counter, modelo Z-11, regulado entre 2 e 10 micrômetros. As células foram identificadas através de microscopia óptica em objetiva de imersão. Utilizou-se um microscópio da marca Olympus, modelo BH-2.

### 3.3.3.6. Avaliação dos parâmetros ambientais

Durante o experimento foram avaliados temperatura ambiente, temperatura e salinidade de cada tanque, intensidade luminosa e as condições do tempo (1 para tempo encoberto ou com chuva, 2 para parcialmente encoberto e 3 para tempo bom). Diariamente estes parâmetros foram monitorados três vezes ao dia: uma vez pela manhã, entre 8:00 e 10:00h, pelo meio do dia, entre 12:00 e 14:00h, e pela tarde, entre 16:00 e 18:00h. Para verificação das temperaturas, utilizou-se um termômetro de vidro com bulbo de mercúrio. As salinidades foram monitoradas através de um refratômetro da marca Aquafauna, modelo ABMNC. A intensidade da luz solar foi medida através de um luxímetro marca Lux Meter, modelo LX-101.

### 3.3.3.7. Recirculação

A taxa de recirculação diária do sistema foi de 6% dia<sup>-1</sup>, sendo realizada manualmente. Todo o final de tarde retirou-se três baldes de 10 litros de água de cada tanque dos camarões, depositando o volume retirado no respectivo tanque de estabilização (Fig.7). Por gravidade, a água do tanque de estabilização foi escoada para o tanque dos camarões. O tempo de residência da água foi de aproximadamente 24 horas.

### 3.3.3.8. Coletas de água

Para análise dos nutrientes, foram realizadas oito coletas de água de cada tanque dos camarões, as quais foram logo armazenadas em freezer a -10°C. As amostras de 200mL foram acondicionadas em frascos de polietileno, cujos mesmos foram previamente lavados em solução de HCl a 10% por duas horas, enxaguados em água destilada e secados em estufa por três horas a 60°C. A primeira amostra foi coletada após um dia de funcionamento do sistema. A segunda, quatro dias depois da primeira coleta. E as seis amostras seguintes foram coletadas semanalmente.

### 3.3.4. Avaliação da taxa de crescimento

Para avaliação da taxa de crescimento relativo, tanto no teste *in vitro* de densidade como no experimento de recirculação, aplicou-se a fórmula sugerida por DAWES (1998):  $TRC (\% \text{ dia}^{-1}) = \{[(P_f - P_i) \cdot P_i^{-1}] \cdot 100\} \cdot t^{-1}$ , onde  $P_f$  é o peso úmido final,  $P_i$  é o peso úmido inicial e  $t$  é o intervalo de tempo entre as pesagens dado em dias.

### 3.3.5. Análise de nutrientes

#### 3.3.5.1. Avaliação de N-amoniacal

Assim como recomendado por GRASSHOFF *et al.*, (1983), preparou-se a curva de calibração para posterior análise dos padrões das amostras. Estas foram descongeladas e mantidas à temperatura ambiente para preparação da análise. Uma alíquota de 50mL de cada amostra de água coletada, não filtrada, foi acondicionada em frascos âmbar, previamente lavados em HCL a 10%, enxaguados em água destilada e secados em estufa a 60°C por três horas. Em seguida, as amostras foram novamente congeladas. Sobre as alíquotas de 50mL foram adicionados os reagentes para a análise colorimétrica de  $\text{NH}_4^+$ , seguindo os métodos descritos por TRÉGUER & LE CORRE (1976) e GRASSHOFF *et al.* (1983). As alíquotas foram fixadas com os reagentes e estocadas ao abrigo da luz e em temperatura ambiente até a análise. A análise ocorreu no máximo de três dias após a fixação. As absorvâncias das amostras para se quantificar o  $\text{NH}_4^+$ , foram medidas com um espectrofotômetro digital, modelo 724CV, visível, em 630nm, utilizando-se cubetas com 5cm de passo óptico.

#### 3.3.5.2. Avaliação de fósforo inorgânico dissolvido (ortofosfato)

As amostras foram novamente descongeladas e mantidas à temperatura ambiente. Em seguida, foram filtradas com auxílio do conjunto de filtragem composto por Kitazato de 1000mL e bomba a vácuo, cujo vacuômetro foi regulado em 5 pol. Utilizou-se filtros de fibra de vidro de  $0,47\mu\text{m} \pm 0,05$  da marca Schleicher & Schuell. Após a filtragem, as amostras foram imediatamente congeladas em freezer a -10°C até o momento da análise.

Para a análise de  $\text{P-PO}_4^{3-}$  descongelou-se as amostras. Em temperatura ambiente, tomou-se uma alíquota de 17,5mL de cada amostra e acondicionou-se em frascos de vidro transparentes, previamente lavados em HCL a 10%, enxaguados em água destilada e secados em estufa a 120°C por duas horas. Preparou-se a curva de calibração para posterior análise dos padrões das amostras. A determinação destes padrões seguiu o método colorimétrico (GRASSHOFF *et al.*, 1983). As amostras foram fixadas com os reagentes e suas absorvâncias foram lidas após cinco minutos, em um tempo máximo de 20 minutos. A leitura das absorvâncias foram feitas em 880nm através de um espectrofotômetro, marca Hach, modelo DR/2010, utilizando-se cubetas de vidro.

### 3.3.6. Análise estatística

Através do programa “Statistica” foi utilizada análise de variância unifatorial ANOVA para averiguar a variação do ganho em peso dos camarões entre os tratamentos com alga e sem alga, e teste de Tukey para comparação das médias de ganho em peso do camarão nos sistemas fechados de recirculação com alga e sem alga (ZAR, 1999), após testada a normalidade e a homocedasticidade. O desempenho de crescimento de *U. lactuca* foi comparado, através do teste de *t*, com a densidade de alga empregada no sistema e com a alteração da salinidade. Uma correlação comparando a eficiência de remoção dos nutrientes e os tratamentos com alga e sem alga nos sistemas de recirculação foi realizada através de análise de dispersão e regressão polinomial. Os parâmetros físicos foram avaliados através da estatística básica.

## 3.4. Resultados

### 3.4.1. Densidade

Constatou-se que as densidades de 1 e de 5 g L<sup>-1</sup> e de 2 e de 5 g L<sup>-1</sup> apresentaram concentrações finais, respectivamente, de N-amoniacoal e de ortofosfato bastante semelhantes (Tab.1). Observou-se que a densidade de 3g L<sup>-1</sup> apresentou as menores concentrações finais, tanto para o N-amoniacoal quanto para o ortofosfato. (Tab.1). A partir desta densidade, *U. lactuca* teve uma taxa de crescimento reduzida à medida que o volume de sua biomassa foi aumentado. Da mesma forma, a eficiência de remoção dos nutrientes ficou prejudicada com o aumento da densidade.

Tabela 1

Médias de TCR e cinética das concentrações de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> em diferentes densidades

Densidade (g L <sup>-1</sup> )	TCR (% dia <sup>-1</sup> )	[ ] inicial NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM)	[ ] final NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (μM)	[ ] inicial PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μM)	[ ] final PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (μM)
1	8,76 ± 1,43	41,20	4,93 ± 1,22	5,07	1,36 ± 0,71
2	7,33 ± 0,28	41,20	3,80 ± 0,66	5,07	1,63 ± 0,60
3	7,48 ± 0,45	41,20	2,67 ± 0,15	5,07	0,55 ± 0,08
4	6,88 ± 0,27	41,20	3,03 ± 0,25	5,07	0,81 ± 0,34
5	6,29 ± 0,66	41,20	5,00 ± 0,69	5,07	1,62 ± 0,72

Os valores médios de TCR e as médias das concentrações finais de NH<sub>3</sub> e PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> correspondem a um intervalo de três dias.

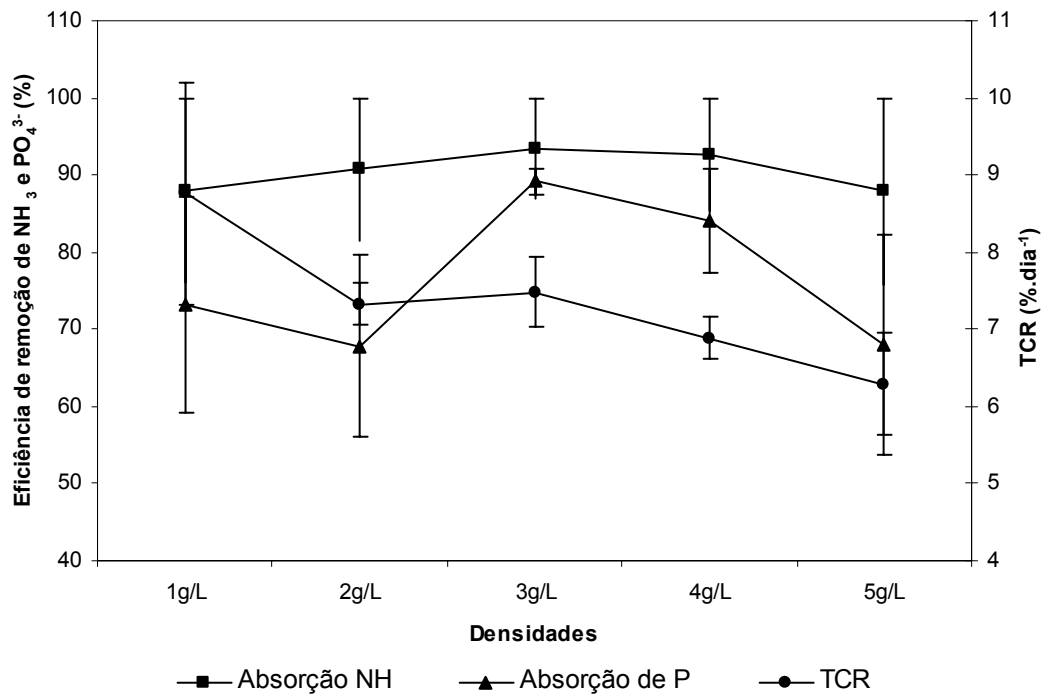


Fig.8 – Percentual de eficiência da remoção de N-amoniaco e de ortofosfato relacionado à taxa de crescimento relativo de *Ulva lactuca* em diferentes densidades.

*Ulva lactuca* apresentou eficiência de remoção de  $\text{NH}_4^+$  superior a 90% nos tratamentos com densidades de 2, 3 e  $4\text{ g L}^{-1}$ . Para a eficiência de remoção do ortofosfato, a densidade de  $3\text{ g L}^{-1}$  apresentou-se superior às demais densidades, alcançando um percentual de 89,15% (Fig.2).

### 3.4.2. Sistema de recirculação

#### 3.4.2.1. Condições ambientais

As médias da temperatura ambiente verificadas no decorrer do experimento, realizado entre 10 de abril a 02 de junho de 2004, apontaram para uma anomalia negativa de acordo com a EPAGRI, sendo registrado  $24,4^\circ\text{C}$  e  $20,17^\circ\text{C}$ , respectivamente, para abril e maio. Entre os tanques dos camarões, as médias diárias das temperaturas da água observadas foram de  $25,1^\circ\text{C} \pm 2,40$ ;  $22,8^\circ\text{C} \pm 2,26$ ;  $21,1^\circ\text{C} \pm 1,29$ ;  $20,3^\circ\text{C} \pm 1,32$ ;  $18,8^\circ\text{C} \pm 1,17$ ; e  $18,8^\circ\text{C} \pm 1,50$ , respectivamente para os períodos de 11 a 20 de abril, 21 a 30 de abril, 01 a 10 de maio, 11 a 14 de maio, 15 a 20 de maio e 21 a 30 de maio (Tab.2). Os tanques de estabilização



apontaram uma média superior aos tanques dos camarões em 0,8°C ao longo de todo o período. A exceção dos primeiros dez dias, os tanques de estabilização com alga apontaram ligeira superioridade nas médias das temperaturas em relação aos tanques sem alga. Também foi observado que as flutuações de temperatura foram, em geral, maiores nos tanques de estabilização que nos tanques de camarões (Tab.2).

Ocorreram pequenas variações da salinidade em todos os tanques durante o experimento. Excesso de chuvas registrado entre 01 e 14 de maio apontaram para uma queda da salinidade neste período (Tab.2). Verificou-se que a intensidade luminosa foi relativamente comprometida nestes mesmos períodos em que as condições do tempo estiveram desfavoráveis (Tab.2).

Tabela 2.

Temperatura, salinidade, intensidade luminosa e condições do tempo monitorados durante o experimento.

Período	Média temperatura (°C)			Média salinidade (ppt)		Média int. lum. (lux)	Condições do tempo (%)		
	Ambiente	Tanques dos camarões	Tanques de estabilização	Tanques dos camarões	Tanques de estabilização		1	2	3
11 a 20/04/2004	M: 24,3 ± 2,18 (D.P.)	M: 23,8 ± 1,66 (D.P.)	M: 23,9 ± 1,71 (D.P.)	15,44 ± 1,12 (D.P.)	15,68 ± 1,59 (D.P.)	M: 484 ± 274 (D.P.)	M: 20	M: 20	M: 60
	M-d: 27,0 ± 3,39 (D.P.)	M-d: 25,7 ± 2,47 (D.P.)	M-d: 27,1 ± 3,15 (D.P.)			M-d: 639 ± 478 (D.P.)	M-d: 30	M-d: 20	M-d: 50
	T: 24,0 ± 2,47 (D.P.)	T: 25,8 ± 2,64 (D.P.)	T: 26,6 ± 2,96 (D.P.)			T: 70 ± 119 (D.P.)	T: 10	T: 50	T: 40
	P: 25,1 ± 2,75 (D.P.)	P: 25,1 ± 2,40 (D.P.)	P: 25,9 ± 2,97 (D.P.)			P: 398 ± 398 (D.P.)	P: 20	P: 30	P: 50
21 a 30/04/2004	M: 22,5 ± 2,01 (D.P.)	M: 21,8 ± 2,85 (D.P.)	M: 22,2 ± 3,28 (D.P.)	16,74 ± 1,26 (D.P.)	17,17 ± 1,14 (D.P.)	M: 352 ± 219 (D.P.)	M: 40	M: 30	M: 30
	M-d: 25,2 ± 2,55 (D.P.)	M-d: 23,5 ± 1,89 (D.P.)	M-d: 24,9 ± 1,84 (D.P.)			M-d: 589 ± 367 (D.P.)	M-d: 30	M-d: 20	M-d: 50
	T: 23,4 ± 1,67 (D.P.)	T: 23,2 ± 1,70 (D.P.)	T: 23,6 ± 2,39 (D.P.)			T: 69 ± 54 (D.P.)	T: 40	T: 20	T: 40
	P: 23,7 ± 2,32 (D.P.)	P: 22,8 ± 2,26 (D.P.)	P: 23,6 ± 2,73 (D.P.)			P: 337 ± 323 (D.P.)	P: 36,7	P: 23,3	P: 40
01 a 10/05/2004	M: 21,0 ± 1,40 (D.P.)	M: 20,3 ± 1,16 (D.P.)	M: 20,7 ± 1,47 (D.P.)	15,94 ± 1,33 (D.P.)	16,23 ± 1,57 (D.P.)	M: 298 ± 290 (D.P.)	M: 50	M: 10	M: 40
	M-d: 22,2 ± 2,11 (D.P.)	M-d: 21,3 ± 1,03 (D.P.)	M-d: 22,5 ± 2,28 (D.P.)			M-d: 421 ± 396 (D.P.)	M-d: 50	M-d: 20	M-d: 30
	T: 21,6 ± 1,05 (D.P.)	T: 21,8 ± 1,29 (D.P.)	T: 22,4 ± 1,92 (D.P.)			T: 32 ± 24 (D.P.)	T: 60	T: 0	T: 40
	P: 21,6 ± 1,62 (D.P.)	P: 21,1 ± 1,29 (D.P.)	P: 21,9 ± 2,04 (D.P.)			P: 250 ± 320 (D.P.)	P: 53,3	P: 10	P: 36,7
11 a 14/05/2004	M: 19,1 ± 0,25 (D.P.)	M: 19,0 ± 0,41 (D.P.)	M: 18,8 ± 0,50 (D.P.)	15,13 ± 0,52 (D.P.)	15,21 ± 0,52 (D.P.)	M: 157 ± 224 (D.P.)	M: 50	M: 25	M: 25
	M-d: 21,9 ± 1,84 (D.P.)	M-d: 20,8 ± 1,04 (D.P.)	M-d: 22,0 ± 2,27 (D.P.)			M-d: 558 ± 471 (D.P.)	M-d: 50	M-d: 0	M-d: 50
	T: 20,3 ± 1,04 (D.P.)	T: 21,2 ± 1,27 (D.P.)	T: 21,4 ± 1,84 (D.P.)			T: 26 ± 15 (D.P.)	T: 25	T: 25	T: 50
	P: 20,4 ± 1,62 (D.P.)	P: 20,3 ± 1,32 (D.P.)	P: 20,7 ± 2,13 (D.P.)			P: 247 ± 361 (D.P.)	P: 41,7	P: 16,7	P: 41,6
15 a 20/05/2004*	M: 19,3 ± 1,81 (D.P.)	M: 17,6 ± 0,80 (D.P.)	M: 17,8 ± 0,92 (D.P.)	23,18 ± 0,87 (D.P.)	22,88 ± 1,13 (D.P.)	M: 457 ± 238 (D.P.)	M: 0	M: 50	M: 50
	M-d: 21,2 ± 1,54 (D.P.)	M-d: 19,3 ± 0,49 (D.P.)	M-d: 20,7 ± 1,33 (D.P.)			M-d: 785 ± 268 (D.P.)	M-d: 0	M-d: 16,7	M-d: 83,3
	T: 18,3 ± 0,52 (D.P.)	T: 19,6 ± 0,92 (D.P.)	T: 20,4 ± 1,44 (D.P.)			T: 18 ± 5 (D.P.)	T: 0	T: 50	T: 50
	P: 19,6 ± 1,79 (D.P.)	P: 18,8 ± 1,17 (D.P.)	P: 19,6 ± 1,78 (D.P.)			P: 420 ± 377 (D.P.)	P: 0	P: 38,9	P: 61,1
21 a 30/05/2004	M: 18,0 ± 1,90 (D.P.)	M: 17,9 ± 1,70 (D.P.)	M: 18,7 ± 2,04 (D.P.)	20,57 ± 1,57 (D.P.)	20,90 ± 1,29 (D.P.)	M: 155 ± 134 (D.P.)	M: 30	M: 10	M: 60
	M-d: 20,3 ± 1,55 (D.P.)	M-d: 19,4 ± 1,13 (D.P.)	M-d: 20,3 ± 0,96 (D.P.)			M-d: 357 ± 224 (D.P.)	M-d: 30	M-d: 40	M-d: 30
	T: 18,7 ± 0,90 (D.P.)	T: 19,2 ± 1,28 (D.P.)	T: 20,3 ± 1,36 (D.P.)			T: 124 ± 92 (D.P.)	T: 30	T: 40	T: 30
	P: 19,0 ± 1,66 (D.P.)	P: 18,8 ± 1,50 (D.P.)	P: 19,8 ± 1,65 (D.P.)			P: 212 ± 187 (D.P.)	P: 30	P: 30	P: 40

As médias das temperaturas observadas entre os tanques de camarões e de estabilização, para os tratamentos com alga e sem alga, não apontaram diferença significativa  $P > 0,05$ . M, M-d e T significam valores médios dos parâmetros observados, respectivamente, durante a manhã (8:00 e 10:00h), durante o meio dia (12:00 e 14:00h) e durante a tarde (16:00 e 18:00h) em cada período. P significa a média geral dos parâmetros para cada período. D.P. significa o desvio padrão.

\*Período em que a salinidade dos tratamentos foi alterada. As condições do tempo foram monitoradas considerando-se 1 para tempo totalmente encoberto ou chuvoso, 2 para tempo parcialmente encoberto e 3 para tempo predominantemente ensolarado.

### 3.4.2.2. Crescimento dos camarões

As médias de peso verificadas inicialmente foram de  $6,13\text{g} \pm 0,27$  e  $6,08\text{g} \pm 0,24$  para os tratamentos com alga e sem alga, respectivamente. Após 51 dias, alcançaram as médias de peso equivalentes a  $9,04\text{g} \pm 1,19$  e  $8,80\text{g} \pm 1,13$  para os tratamentos com alga e sem alga, respectivamente. As médias do ganho em peso observadas nos dois tratamentos foram, respectivamente, de  $2,91\text{g} \pm 0,37$  e  $2,72\text{g} \pm 0,02$  para os tratamentos com alga e sem alga. (Fig.3). Aplicando-se o teste de Tukey, não detectou-se diferença significativa entre o ganho em peso dos camarões cultivados nos tratamentos com alga e sem alga para  $P > 0,05$ .

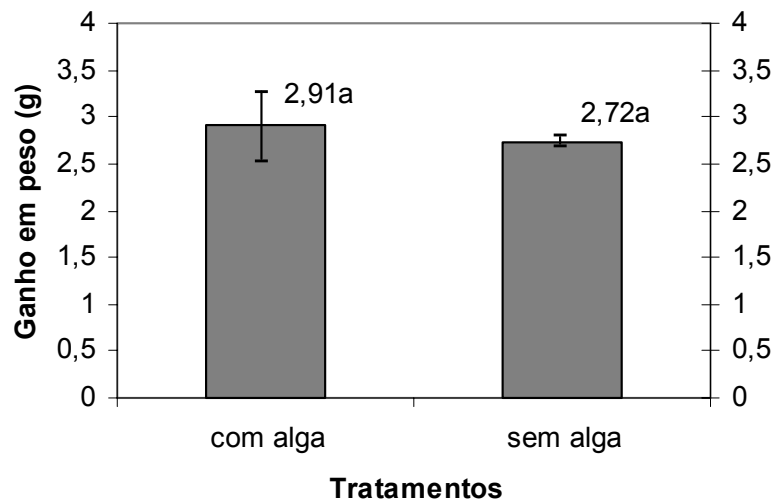


Fig.3 – Ganho em peso dos camarões em sistema fechado de recirculação com alga e sem alga, onde barras = desvio padrão.

### 3.4.2.3. Crescimento das algas

*Ulva lactuca* apresentou uma taxa de crescimento relativo muito modesta em salinidades próximas de 15ppt. Constatou-se apodrecimento parcial dos talos, resultando, em algumas ocasiões, na redução de sua biomassa. A alga obteve melhor resposta a partir da elevação da salinidade para  $\pm 21\text{ppt}$ , verificando-se uma taxa de crescimento mais elevada, maior resistência e integridade dos talos. Não foram constatadas alterações significativas nas taxas de crescimento com a redução da densidade de  $500\text{g tanque}^{-1}$  para  $375\text{g tanque}^{-1}$ .

#### 3.4.2.4. Análise de microalgas

Concentrações elevadas da Chlorophyta *Isochrysis* sp. em alguns tanques do sistema de recirculação foram identificadas (Fig.5).



Fig.5 – Células da microalga verde *Isochrysis* sp. em interação com o sistema fechado de recirculação. Visualização em objetiva de emersão, ampliação de 100 vezes.

No tratamento com alga, encontrou-se as seguintes concentrações de *Isochrysis* sp. no sistema: repetição 1 =  $1,11 \cdot 10^6$  (1.110.000) células  $\text{mL}^{-1}$ ; repetição 2 =  $3,11 \cdot 10^6$  (3.110.000) células  $\text{mL}^{-1}$  e repetição 3 =  $5,41 \cdot 10^5$  (541.000) células  $\text{mL}^{-1}$ . E no tratamento sem alga, as concentrações de *Isochrysis* sp. foram as seguintes: repetição 1 =  $1,24 \cdot 10^6$  (1.240.000) células  $\text{mL}^{-1}$ ; repetição 2 =  $2,18 \cdot 10^6$  (2.180.000) células  $\text{mL}^{-1}$  e repetição 3 =  $2,54 \cdot 10^6$  (2.540.000) células  $\text{mL}^{-1}$ .

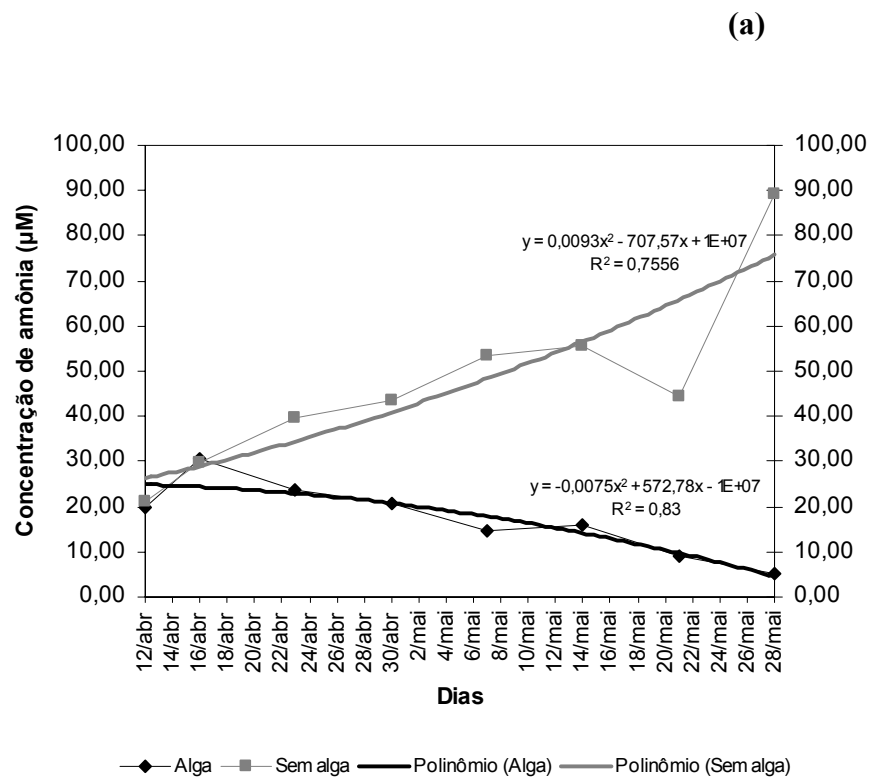
A réplica 2 do tratamento com alga e as réplicas 2 e 3 do tratamento sem alga apresentaram as maiores concentrações de *Isochrysis* sp., onde a água nestes sistemas apresentaram uma coloração verde bastante intensa.

#### 3.4.2.5. Capacidade de remoção de $\text{N-NH}_4^+$ e $\text{P-PO}_4^{3-}$

*Ulva lactuca* mostrou eficiência na redução de N-amoniaco durante o experimento. No tratamento com alga registrou-se, em 46 dias, uma diferença da concentração média inicial de  $19,97\mu\text{M}$  para uma concentração média final  $5,37\mu\text{M}$ , equivalente a 73,11% da remoção de

$\text{NH}_4^+$  (Fig.6.a). Por outro lado, constatou-se que no sistema sem alga, o incremento de  $\text{NH}_4^+$  foi de 326%, elevando de uma concentração média inicial de  $20,97\mu\text{M}$  para  $89,33\mu\text{M}$  em 46 dias (Fig.6.a). Observou-se que a eficiência de remoção de  $\text{NH}_4^+$  por *U. lactuca* entre os tratamentos foi de 94,0%. Constatou-se uma redução na concentração de N-amoniacoal entre 15 e 24 de maio no tratamento sem alga.

Com relação ao ortofosfato, a média da concentração final aumentou de  $1,32\mu\text{M}$  para  $7,84\mu\text{M}$  no tratamento com alga, constatando-se que, após 46 dias, ela foi inferior em 39,5% a do tratamento sem alga. Neste tratamento, a média da concentração de ortofosfato saltou de  $1,63\mu\text{M}$  para  $12,96\mu\text{M}$  (Fig.6.b). Também ficou constatada uma ligeira redução nas concentrações dos dois tratamentos entre 15 e 24 de maio.



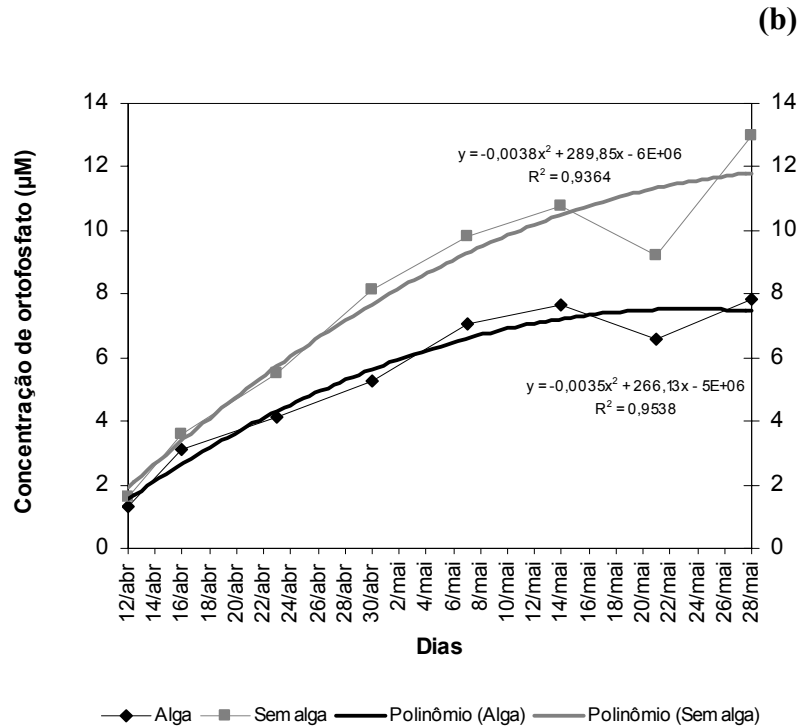


Fig.6 – Dispersão e regressão polinomial das concentrações dos nutrientes em sistemas de recirculação com alga e sem alga, durante 46 dias. (a) dinâmica de  $\text{N-NH}_4^+$ ; (b) dinâmica de  $\text{P-PO}_4^{3-}$ .

### 3.5. Discussão

#### 3.5.1. Densidade

A maior taxa de crescimento obtida na densidade de  $1\text{g L}^{-1}$  (Tabela 1) também foi observada por JIMÉNEZ DEL RÍO *et al.* (1996) em estudos realizados com *Ulva rigida*. Segundo estes autores, as taxas de crescimento para esta espécie foram decrescentes a partir de densidades superiores a  $2,5\text{g L}^{-1}$ . Foi constatado no presente estudo, com *U. lactuca*, redução das taxas de crescimento em densidades superiores a  $3\text{g.L}^{-1}$  (Tabela 1). Entretanto, para as culturas de *Ulva* em escalas maiores, DeBUSK *et al.* (1986) e HANISAK (1987) obtiveram uma produção mais significativa em densidade de  $0,8\text{kg m}^{-2}$ . NEORI *et al* (1991) encontraram uma densidade ótima de  $1\text{kg m}^{-2}$  para *U. lactuca*.

A mesma espécie obteve melhor relação entre taxa de crescimento e absorção de nutrientes em densidades próximas de  $2\text{g.L}^{-1}$  (RYTHER *et al.*, 1984). Entretanto, constatou-se no presente trabalho, uma melhor relação entre taxa de crescimento e remoção de nutrientes na densidade de  $3\text{g.L}^{-1}$  (Tabela 1 e Fig. 2.). Mas esta densidade ótima se torna conveniente quando empregada em volumes pequenos ou superfícies rasas, inferiores a 30cm de lâmina

d'água. Densidades entre 1 e 2g.L<sup>-1</sup> são mais convenientes quando empregadas em cultivos integrados com camarões marinhos em fazendas, pois a diluição dos nutrientes se torna proporcionalmente maior com o volume de água. Além disso, estas densidades mais baixas possibilitam uma taxa de crescimento mais elevada e permitem que parte dos nutrientes sustente os fitoplânctons, indispensável para a cadeia produtiva em cultivos de camarões marinhos.

A eficiência de remoção de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> superior a 90% observada nas densidades de 2, 3 e 4g L<sup>-1</sup> constatadas neste experimento (Figura 2) também foram reportadas por HARLIN *et al.* (1978) nos primeiros trabalhos realizados com *U. lactuca*.

### 3.5.2. Sistema de recirculação

#### 3.5.2.1 Condições ambientais

As baixas temperaturas registradas nos meses de abril e maio (Tab.2) foram determinantes para o baixo crescimento dos camarões. A ração consumida pelos crustáceos não foi convertida em peso ou crescimento. De acordo com pesquisas realizadas acerca do *Litopenaeus vannamei* em Santa Catarina, a faixa ótima de temperatura para a referida espécie é de 26 a 30°C. De 22 a 26°C é considerado razoável e de 18 a 22°C é ruim. Temperaturas inferiores a 18°C se tornam críticas para o cultivo deste camarão, pois além de serem letais, o animal deixa de se alimentar.

O baixo crescimento dos camarões registrado no final do experimento também foi refletido em todas as fazendas de camarões marinhos de Santa Catarina no mesmo período de 2004. Para que não houvesse perda total da produção, os carcinicultores despescaram os camarões no início de junho com peso médio de 9 gramas, semelhante à media do peso final observada neste trabalho.

As baixas temperaturas também podem ter interferido no crescimento das algas no sistema de recirculação. De acordo com PAGAND (1999), temperaturas mais altas são convenientes para o crescimento de *Ulva* sp.

Com relação à salinidade, estudos sob condições controladas em laboratório demonstraram que *U. lactuca*, em apenas nove dias, apresentou uma taxa média de crescimento relativo na ordem de 8,43% dia<sup>-1</sup> em 15ppt contra 7,62% dia<sup>-1</sup> em 25ppt (ALENCAR *et al.*, 2003). Por outro lado, o efeito das concentrações próximas de 15ppt relacionado às adversidades climáticas, possivelmente contribuíram nas baixas taxas de

crescimento, além do apodrecimento parcial dos talos de *U. lactuca*, observados no experimento de recirculação. O estresse promovido pelas baixa salinidade inicial pode ter desencadeado a produção de diamina (putrescina). Segundo SHEVIAKOVA *et al.* (1985) e WILLADINO *et al.* (1996), a putrescina é um produto resultante da putrefação das albuminas, causada por diversos fatores estressantes, inclusive salinidade. De acordo com CAMARA *et al.* (1998), as alterações no potencial osmótico, na toxicidade dos íons e no desequilíbrio da absorção de nutrientes essenciais são reflexos relacionados aos efeitos da salinidade sobre a planta.

Em estudos realizados em Taiwan, LEE (1998) constatou elevada concentração de putrescina (aproximadamente 2000nmol g<sup>-1</sup> de peso seco) em *U. lactuca*, quando submetida à hiposalinidade. Segundo este autor, a toxicidade da putrescina em salinidade de 5ppt resultou para a espécie em uma taxa de crescimento específico negativa (aproximadamente -9% dia<sup>-1</sup>).

A salinidade também é considerada um parâmetro de grande relevância para os cultivos do camarão marinho *Litopenaeus vannamei*. De acordo com CASTILLE Jr. & LAWRENCE (1981), o ponto de equilíbrio osmótico para a espécie é 24,7ppt. Entretanto, a faixa iso-osmótica estudada por RODRIGUEZ (1981) encontra-se entre 18 e 20ppt. Segundo BOYD (1989), a faixa de salinidade ideal para o cultivo desta espécie encontra-se entre 15 e 25ppt. Estes estudos confirmam que a faixa de salinidade adequada para o cultivo integrado entre *Ulva lactuca* e *Litopenaeus vannamei* encontra-se entre 20 e 25ppt.

As condições desfavoráveis do tempo que contribuíram com a baixa intensidade luminosa nos períodos de 01 a 14 de maio (Tab.2), também foram responsáveis pelo baixo crescimento da alga. Estudos realizados por FLORETO *et al.* (1993), com *U. pertusa*, confirmaram que baixas intensidades de luz, entre 48 e 64μE m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, foram responsáveis por taxas de crescimento muito reduzidas. Condições semelhantes foram observadas por DUKE *et al.* (1986) com *U. curvata*. Segundo este autor, as baixas intensidades luminosas contribuem, por conseqüência, na fragmentação dos talos e dos tecidos da alga. Tais condições também foram observadas no presente trabalho de recirculação com *U. lactuca*.

### 3.5.2.2. Remoção dos nutrientes

Apesar do baixo crescimento de *U. lactuca* registrado neste trabalho, o resultado foi bastante animador, podendo comprovar a eficiência da espécie como biofiltro, reduzindo em 90% a amônia gerada pelos efluentes dos camarões em sistema fechado de recirculação. Resultado bastante semelhante, com 80% de remoção da amônia, foi obtido através de sistema



de recirculação, integrando *U. lactuca* como biofiltro e abalone à piscicultura intensiva do pargo europeu, *Sparus aurata* (NEORI & SHPIGEL, 1999). SCHUENHOFF *et al.* (2003) obteve 96% da eliminação de N-total em sistema de semi-recirculação, utilizando *U. lactuca* e abalone integrados à piscicultura intensiva de *S. aurata*. A remoção total de N-amoniacoal foi observada por ELLNER *et al.* (1996), em Israel, através de sistema de recirculação, integrando *U. lactuca* e *S. aurata*. LARTIGUE *et al.*, (2003), estudando esta macroalga, constataram que não houve correlação entre o estresse causado por diferentes faixas de salinidades e a eficiência de remoção de  $\text{NH}_4^+$ .

Com relação ao ortofosfato, a remoção de 39,5% do sistema, apesar do baixo crescimento e do fator de estresse sofrido pela alga, foi considerado bastante positivo. A ligeira tendência de estabilização do ortofosfato a partir de 15 de maio apontou uma possível resposta da alga à faixa mais adequada de salinidade, entre 20 e 23ppt. Estudos realizados por PAGAND *et al.* (2000), mostraram que a eficiência de remoção de fósforo por estas algas varia de 0 a 82%. PORRELLO *et al.* (2003) constataram, em sistema de fitotratamento com *U. rigida*, uma redução de 15% nas concentrações de ortofosfato geradas pelos efluentes da piscicultura intensiva na região da Toscana. Segundo estes autores, a razão N/P continua sendo uma fonte distorcida.

Possivelmente, o acúmulo de ortofosfato no decorrer do experimento contribuiu com o bloom de *Isochrysis* observado em alguns tanques. O declínio de  $\text{NH}_4^+$ , ocorrido no tratamento sem alga, e de  $\text{PO}_4^{3-}$ , ocorrido nos dois tratamentos, entre 15 e 24 de maio (Fig.6.a e 6.b), foram gerados pela renovação de 30% da água para elevação da salinidade do sistema.

### 3.6. Considerações finais

O presente trabalho mostrou que *U. lactuca* oferece um perfil adequado à integração com *Litopenaeus vannamei* em sistema fechado de recirculação, cujos fatores ambientais, principalmente de temperatura e salinidade, são correspondentes tanto para a alga quanto para o camarão. A sazonalidade de *U. lactuca* observada entre a primavera e o outono no sul do Brasil e durante o ano inteiro no nordeste brasileiro coincidem com os períodos de cultivo do camarão branco do Pacífico, *L. vannamei*, respectivamente para as duas regiões brasileiras. Além disso, o trabalho mostrou que *U. lactuca* pode contribuir com a redução dos excessos de nutrientes, minimizando os possíveis impactos de eutrofização nos ambientes de cultivo.

### 3.7. Conclusões

Os sistemas de recirculação associando macroalgas e camarões marinhos são realidades eficientes que carecem da aplicação efetiva nos cultivos tanto no sul como no nordeste brasileiro. Entretanto, ainda necessitam de maiores estudos quanto à taxa de recirculação diária, dimensionamento da bacia de estabilização e tempo de residência da água. Estas condicionantes devem, entretanto, se adequar à espécie de macroalga utilizada, ao tamanho da fazenda, à densidade de camarões e ao volume de efluentes gerados.

Por ser os primeiros estudos no sentido de se integrar a macroalga *Ulva lactuca* em fazendas de camarões marinhos, acredita-se que poderá haver resistência por parte dos carcinicultores em aceitar a cultivo da espécie. Devido às reais circunstâncias de baixas concentrações de oxigênio nos viveiros de camarões e excesso de nutrientes gerados por essa atividade aquícola, a renovação diária tem se tornado uma constante solução paliativa para solucionar de imediato tais problemas. Provavelmente a macroalga *U. lactuca* poderá apontar uma solução definitiva através de sistema fechado de recirculação, além de poder oferecer uma fonte de renda complementar, servindo de matéria prima para o processamento de fertilizantes orgânicos no país.

### 3.8. Referências Bibliográficas

- ALENCAR, J. R.; HORTA, P. A.; EMOTO, S. T.; DUTRA, F. S.; WEISS, L. A. & BOUZON, Z. L. 2003. **Evaluation of *Ulva lactuca* (ULVALES, CHLOROPHYTA) growth in different salinities - an alternative for the treatment of carciniculture effluents in the south of Brazil**. World Aquaculture. (2003: Salvador). Anais. Salvador: INVE, v.1, p.28.
- BOYD, C. E. 1989. **Water quality management and aeration in shrimps farming**. Fisheries and Allied Aquaculture Departmental Series n. 2, Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn: Auburn University, 83p.
- CAMARA, T. R.; WILLADINO, L.; TORNÉ, J. M.; RODRIGUEZ, P. & SANTOS, M. A. 1998. Efeito da putrescina e do estresse salino em calos de milho. **Revista Brasileira de Ficologia Vegetal**, n.10, v.2, p.153-156.
- CASTILLE Jr., F. & LAWRENCE, A. 1981. The effect of salinity on the osmotic, sodium, and chloride concentrations in the hemolymph of euryhaline shrimp of the genus *Penaeus*. **Comparative Biochemistry and Physiology**, v.A68, p.75-80.
- CHOPIN, T.; BUSCHMANN, A. H.; HALLING, C.; TROELL, M.; KAUTSKY, N.; NEORI, A.; KRAEMER, G.; ZERTUCHE-GONZALES, J.; YARISH, C. & NEEFUS, C. 2001.

Integrating seaweeds into aquaculture systems: a key towards sustainability. **J. Phycol.**, n.37, p.975-986.

CHOW, F.; MACCHIAVELLO, J.; CRUZ, S. S.; FONCK, E. & OLIVARES, J. 2001. Utilization of *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta: Gracilariaceae) as a biofilter in the depuration of effluents from tank cultures of fish, oysters, and sea urchins. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.32, n.2, p.215-220.

DAWES, C. J. 1998. **Marine Botany**. 2.ed., New York: Wiley Interscience Publication, 480p.

DeBUSK, T. A.; BLAKESLEE, M. & RYTHER, J. H. 1986. Studies on the outdoor cultivation of *Ulva lactuca*. **Bot. Mar.**, n.34, p.381-386.

DUKE, C. S.; LAPOINTE, B. E.; & RAMUS, J. 1986. Effects of light on growth, RuBPCase activity and chemical composition of *Ulva* species (Chlorophyta). **Journal of Phycology**, v.22, p.362-370.

ELLNER, S.; NEORI, A.; KROM, M. D.; TSAI, K. & EASTERLING, M. R. 1996. Simulation model of recirculating mariculture with seaweed biofilter: development and experimental tests of the model. **Aquaculture**, Netherlands, v.2, n.143, p.167-184.

FLORETO, E. A. T.; HIRATA, H.; ANDO, S. & YAMASAKI, S. 1993. Effects of temperature, light intensity, salinity and source of nitrogen on the growth, total lipid and fatty acid composition of *Ulva pertusa* Kjellman (Chlorophyta). **Botanica Marina**, n.36, p.149-158.

FONSECA, A. L. D.; BRAGA, E. S.; EICHLER, B. B. 2002. Distribuição espacial dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e da biomassa fitoplanctônica no sistema pelágico da Lagoa da Conceição; Santa Catarina, Brasil (setembro,2000). **Atlântica**, Rio Grande, v. 24, n. 2, p. 69-83.

FRALICK, R.A. 1979. The growth of commercially useful seaweeds in a nutrient enriched multipurpose aquaculture system. In: Proc. Int. Seaweed Symp. IX, Jensen, A. and Stein, J.R. (eds). Science Press, Princeton.

GAYRAL, P. & COSSON, J. 1986. **Connaître et reconnaître les algues marines**. Rennes (France): Ouest France, 322p.

GRASSHOFF, K. A., EHRHARDT, M. & KREMLING, K. 1983. **Methods of seawater Analysis**. 2. ed., Verlag Chemie, 419p.

HANISAK, M. D. 1987. Cultivation of *Gracilaria* and other macroalgae in Florida for energy production. **Dev. Aqua. Fish. Sc.**, p.191-218.

HARLIN, M. M.; THORNE-MILLER, B. & THURSBY, G. B. 1978. Ammonium uptake by *Gracilaria* sp. (Florideophyceae) and *Ulva lactuca* (Chlorophyceae) in closed system fish culture. **Proc. Int. Seaweed Symp.**, v.10, p.285-292.

JIMÉNEZ DEL RÍO, M.; RAMAZANOV, Z. & GARCÍA-REINA, G. 1996. *Ulva rigida* (Ulvales, Chlorophyta) tank culture as biofilters for dissolved inorganic nitrogen from fishpond effluents. **Hidrobiologia**, Belgium, n.326/327, p.61-66.

LARTIGUE, J.; NEILL, A.; HAYDEN, B. L.; PULFER, J. & CEBRIAN, J. 2003. The impact of salinity fluctuations on net oxygen production and inorganic nitrogen uptake by *Ulva lactuca* (Chlorophyceae). **Aquatic Botany**, n.75, p. 339-350.

LEE, T. M., 1998. Investigations of some intertidal green macroalgae to hyposaline stress: Detrimental role of putrescine under extreme hyposaline conditions. **Plant Science**, n.138, p.1-8.

NELSON S. G.; GLENN E. P.; CONN J.; MOORE D.; WALSH T. & AKUTAGAWA M. 2001. Cultivation of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in shrimp-farm effluent and floating cages in Hawaii: a two-phase polyculture system. **Aquaculture**, n.193, p.239-248.

NEORI, A.; COHEN, I. & GORDIN, H. 1991. *Ulva lactuca* biofilters for marine fishpond effluents. II. Growth rate, yield and C : N ratio. **Bot. Mar.**, n.34, p.483-489.

NEORI, A. & SHPIGEL, M. 1999. Algae treat effluents and feed invertebrates in sustainable integrated mariculture. **World Aquac.**, n.30, p.46-51.

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

NEORI, A.; MSUYA, F. E.; SHAULI, L.; SCHUENHOFF, A.; KOPEL, F. & SHPIGEL, M. 2003. A novel three-stage seaweed (*Ulva lactuca*) biofilter design for integrated mariculture. **Journal of Applied Phycology**, Belgium, v.15, p.543-553.

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**, n.231, p.361-391.

NUNES, A. J. P. 2002. Tratamento de efluentes e recirculação de água na engorda de camarão marinho. **Panorama da Aqüicultura**, Rio de Janeiro, v.12, n.71, p.27-39.

PAGAND, P. 1999. **Traitement des effluents piscicoles marins par lagunage a haut rendement algal**. Montpellier, France, Thèse (Doctorat en Hydrologie – Sciences de l'Eau et Aménagement) – Unités de Formation et de Recherche Pharmaceutiques, Université de Montpellier I. p.44-179.

PAGAND, P.; BLANCHETON, J. P.; LEMOALLE, J. & CASELLAS, C. 2000. The use of high rate algal ponds for the treatment of marine effluent from a recirculating fish rearing system. **Aquaculture Research**, n.31, p.729-736.

PORRELLO, S.; LENZI, M.; PERSIA, E.; TOMASSETTI, P.; FINOIA, M. G. 2003. Reduction of aquaculture wastewater eutrophication by phytotreatment ponds system: I. dissolved and particulate nitrogen and phosphorus. **Aquaculture**, Netherlands, n.219, p.515-529.

RODRIGUEZ, G. A. 1981. Osmoregulation and total serum protein of two species of penaeidean shrimp from the Pacific coast of Mexico. **J. Crustac. Biol.**, v.1, p.391-400.

RUNCIE, J. W.; RITCHIE, R. J. & LARKUM, A. W. D. 2003. Uptake kinetics and assimilation of inorganic nitrogen by *Catenella nipae* and *Ulva lactuca*. **Aquatic Botany**, n.76, p. 155-174.

RYTHER, J. H.; DeBUSK, T. A. & BLAKESLEE, M. 1984. Cultivation and conversion of marine macroalgae. **Final Subcontract Report to SERI, the U.S. Dept. of Energy, Publication SERI/STR – 231-2360 DE 84004522**, 81p.

SCHUENHOFF, A.; SHPIGEL, M.; LUPATSCH, I.; ASHKENAZI, A.; MSUYA, F. E. & NEORI, A. 2003. A semi-recirculating, integrated system for the culture of fish and seaweed. **Aquaculture**, Netherlands, n.221, p.167-181.

SHEVYAKOVA, N. I.; STROGONOV, B. P. & KIRYAN, G. I. 1985. Metabolism of polyamines in NaCl-resistant cell lines from *Nicotiana sylvestris*. **Plant Growth Regulation**, v.3, p.365-369.

SOUZA FILHO, J.; COSTA, S. W. da; TUTIDA, L. M.; FRIGO, T. B. & HERZOG, D. 2003. **Custo de produção do camarão marinho**. Ed. rev. Florianópolis: Instituto Cepa/SC/Epagri, 24p.

TRÉGUER, P. & LE CORRE, P. 1976. Manual d'analysis des seis nutritifs dans léau de mer. 2éme éd. Université de Bretagne Occidentale, Brest, 110 p.

VANDERMEULEN, H. & GORDIN, H. 1990. Ammonium uptake using *Ulva* (Chlorophyta) in intensive fishpond systems: mass culture and treatment of effluent. **Journal of Applied Phycology**, Belgium, v.2, p.363-374.

WILLADINO, L.; CAMARA, T.; BOGET, N.; CLAPAROLS, I. & TORNÉ, J. M. 1996. Polyamine and free amino acid variations in NaCl-treated embryogenic maize callus from sensitive and tolerant cultivars. **Journal of Plant Physiology**, n. 147, p. 179-185.

ZAR, J. H. 1999. **Biostatistical analysis**. 4.ed. New Jersey: Upper Saddle River.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO

- ACCIOLY, M. C. 2004. **Desenvolvimento da maricultura artesanal de macroalgas no baixo-sul baiano**. São Paulo, Tese (Doutorado em Botânica) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 164p.
- ACKEFORS, H. & ENNEL, M. 1990. Discharge of nutrients from Swedish fish farming to adjacent sea areas. **Ambio**, n.19, p.28-35.
- ALENCAR, J. R.; HORTA, P. A.; EMOTO, S. T.; DUTRA, F. S.; WEISS, L. A. & BOUZON, Z. L. 2003. **Evaluation of *Ulva lactuca* (ULVALES, CHLOROPHYTA) growth in different salinities - an alternative for the treatment of carciniculture effluents in the south of Brazil**. World Aquaculture. (2003: Salvador). Anais. Salvador: INVE, v.1, p.28.
- ANDREATTA, E. R. & BELTRAME, E. 2004. Aqüicultura: experiências brasileiras. In: POLI, C. R.; POLI, A. T. B.; ANDREATTA, E. R. & BELTRAME, E. (Eds.) **Cultivo de camarões marinhos**. Florianópolis: Multitarefa, p.199-220.
- BIAO, X.; ZHUHONG, D. & XIAORONG, W. 2004. Impact of the intensive shrimp farming on the water quality of the adjacent coastal creeks from Eastern China. **Marine Pollution Bulletin**, n.48, p.543-553.
- BOYD, C. E. 1998b. Shrimp pond management techniques for maintaining acceptable bottom soil and water quality. In: AQUACULTURA BRASIL'98 (1998: Recife). **Anais**. Recife: Persona, v.1, p.115-145.
- BOYD, C. E. 2000. Efluentes de fazendas de camarão durante a drenagem para despesca. **Revista ABCC**. Ano 2, n.3, p.40-41.
- BRZESKI, V. & NEWKIRK, G. F. 1997. Integrated coastal food production systems – a review of current literature. **Ocean Coast. Manag.**, v.34, p.55-71.
- BUSCHMANN, A. H.; WESTERMEIER, R. & RETAMALES, C. A. 1995. Cultivation of *Gracilaria* on the sea-bottom in southern Chile: a review. **Journal of Applied Phycology**, v.7, p.291-301.
- CARVALHO, J. C. 2002. Resolução Conama nº 312, de 10 de outubro de 2002. **Diário Oficial da União**, Brasília, n.203, seção 1, p.60, 18 out.
- CARVALHO FILHO, J. 2002. O camarão ecologicamente correto de Santa Catarina ou o jeito catarinense de criar camarão. **Panorama da Aqüicultura**, Rio de Janeiro, v.12, n.74, p.36-41.
- CARVALHO FILHO, J. 2004. Algas: uma alternativa para as comunidades pesqueiras? **Panorama da Aqüicultura**, Rio de Janeiro, v.14, n.84, p.53-56.
- CHOW, F.; MACCHIAVELLO, J.; CRUZ, S. S.; FONCK, E. & OLIVARES, J. 2001. Utilization of *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta: Gracilariaceae) as a biofilter in the depuration of effluents from tank cultures of fish, oysters, and sea urchins. **Journal of the World Aquaculture Society**, v.32, n.2, p.215-220.

- CRITCHLEY, A. T. & OHNO, M. 1998. **Seaweed resources of the world**. Yokosuka: Japan International Cooperation Agency, 431p.
- DANOVARO, R.; GAMBI, C.; LUNA, G. M. & MIRTO, S. 2004. Sustainable impact of mussel farming in the Adriatic Sea (Mediterranean Sea): evidence from biochemical, microbial and meiofaunal indicators. **Marine Pollution Bulletin**, n.49, p.325–333.
- ENNEL, M. 1995. Environmental impact of nutrients from nordic fish farming. **Water Science and Technology**, n. 10, p.61-71.
- FRAGA, A. P. C. 2002. **Caracterização da qualidade da água, dos sedimentos e dos efluentes gerados pela atividade de carcinicultura marinha, em duas fazendas no Estado de Santa Catarina - Brasil**. Florianópolis, Dissertação (Mestrado em Aqüicultura) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, 30p.
- GAYRAL, P. & COSSON, J. 1986. **Connaître et reconnaître les algues marines**. Rennes (France): Ouest France, 322p.
- GRÜNEWALD, C. F. 2003. Uso de las macroalgas y su contribución al desarrollo sustentable en el Archipiélago de Chiloé. **Plancton Andino, Proyecto Piloto: producción de biogás (opción 3)**, 4p.:il.
- GUIRY, M. D. & BLUNDEN, G. 1991. Conclusions and outlooks. In: GUIRY, M. D. & BLUNDEN, G. (Eds.) **Seaweed resources in Europe: uses and potencial**. John Wiley & Sons, p.409-413.
- HO, K. T.; KUHN, A.; PELLETIER, M. C.; BURGESS, R. M. & HELMSTETTER, A. 1999. Use of *Ulva lactuca* distinguish ph-dependent toxicants in marine waters and sediments. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.18, n.2, p. 207-212.
- JIMÉNEZ DEL RÍO, M.; RAMAZANOV, Z. & GARCÍA-REINA, G. 1996. *Ulva rigida* (Ulvales, Chlorophyta) tank culture as biofilters for dissolved inorganic nitrogen from fishpond effluents. **Hidrobiologia**, Belgium, n.326/327, p.61-66.
- KLIMMEK, S. 2003. **Charakterisierung der Biosorption von Schwermetallen an Algen**. Berlin, Deutschland, Thesis (Doktorwürde der Naturwissenschaften) – Prozesswissenschaften der Technischen Universität Berlin, 161 p.
- LARTIGUE, J.; NEILL, A.; HAYDEN, B. L.; PULFER, J. & CEBRIAN, J. 2003. The impact of salinity fluctuations on net oxygen production and inorganic nitrogen uptake by *Ulva lactuca* (Chlorophyceae). **Aquatic Botany**, n.75, p. 339-350.
- MARINHO-SORIANO, E.; MORALES, C. & MOREIRA, W. C. 2002. Cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta) in shrimp pond effluents in Brazil. **Aquaculture Research**, n.33, p.1081-1086.
- MAUSETTH, J. D. 1995. **Botany: an introduction to plant biology**. 2.ed. San Francisco: Saunders College Publishing, 794p.:il.
- McVEY, J. P.; STICKNEY, R.; YARISH, C. & CHOPIN, T. 2002. Aquatic polyculture and balanced ecosystem management: new paradigms for seafood production. In: STICKNEY, R.

& McVEY, J. P. (Eds.) **Responsible marine aquaculture**. Oxon (UK): CABI Publishing, p.91-104.

MENZ, A. & BLAKE, B. F. 1980. Experiments on the growth of *Penaeus vannamei* Boone. **J. Exp. Mar. Biol. Ecol.**, n. 48, p.99-111.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. 2001. **Plataforma tecnológica do camarão marinho cultivado: seguimento de mercado**. Brasília: MAPA/SARC/DPA, CNPq, ABCC, 276p.

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

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**, n.231, p.361-391.

NUNES, A. J. P. 2002. Tratamento de efluentes e recirculação de água na engorda de camarão marinho. **Panorama da Aqüicultura**, Rio de Janeiro, v.12, n.71, p.27-39.

OLIVEIRA, E. C. 1989. The rationale for seaweed cultivation in South America. In: OLIVEIRA, E. C. e KAUTSKY, N. (Eds.) **Cultivation of seaweeds in Latin America**. Universidade de São Paulo/Int. Foundation for Science, p.135-141.

PAGAND, P. 1999. **Traitement des effluents piscicoles marins par lagunage a haut rendement algal**. Montpellier, France, Thèse (Doctorat en Hydrologie – Sciences de l'Eau et Aménagement) – Unités de Formation et de Recherche Pharmaceutiques, Université de Montpellier I. p.44-179.

PÁEZ-OSUNA, F.; GUERRERO-GALVÁN, S. R.; RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C. & ESPINOZA-ANGULO, R. 1997. Fluxes and mass balances of nutrients in a semi-intensive shrimp farm in north-western Mexico. **Marine Pollution Bulletin**, v.34, n.5, p.290-297.

PÁEZ-OSUNA, F.; GUERRERO-GALVÁN, S. R. & RUIZ-FERNÁNDEZ, A. C. 1999. Discharge of nutrients from shrimp farming to coastal waters of the Gulf of California. **Marine Pollution Bulletin**, v.38, n.7, p.585-592.

RINCONES, L. R. E. 2000. Marine agronomy: a sustainable alternative for coastal communities in developing countries. **The Advocate**, v.3, n.2, p.70-72.

ROUBACH, R.; CORREIA, E. S.; MARTINO, R. C. & CAVALLI, R. O. 2003. Aqüicultura brasileira. **Panorama da Aqüicultura**, Rio de Janeiro, v.13, n.76, p.47-61.

SANTOS, D. P. 1983. **Clorofíceas bentônicas marinhas do Estado de Santa Catarina**. São Paulo, Dissertação (Mestrado em Botânica) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 166p.

SOUZA FILHO, J.; COSTA, S. W. da; TUTIDA, L. M.; FRIGO, T. B. & HERZOG, D. 2003. **Custo de produção do camarão marinho**. Ed. rev. Florianópolis: Instituto Cepa/SC/Epagri, 24p.



SPIEKER, J. 2001. Vorstudie zur Klärung der Relevanz der Gewässerflora (Makrophyten, Angiospermen, Großalgen) für die Bewertung des ökologischen Zustandes im Teileinzugsgebiet Tideelbe. **Arbeitsgemeinschaft EU – Wasserrahmenrichtlinie**, ARGE Elbe: Hamburg, v.-n.W39/00, 46p.:il.

TROELL, M.; HALLING, C.; NEORI, A.; CHOPIN, T.; BUSCHMANN, A. H.; KAUTSKY, N. & YARISH, C. 2003. Integrated mariculture: asking the right questions. **Aquaculture**, n.226, p.69-90.

TUDGE, C. 2000. **The variety of life: the meaning of biodiversity**. New York: Oxford University Press, 528p.:il.

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

ZAISSO, A. L. B. 1996. Macroalgas de interés económico: cultivo, manejo, industrialización. In: FERRARIO, M. & SAR, E. (Eds.) **Utilización de las algas marinas**. La Plata (Argentina): Universidad Nacional de la Plata, p.15-55.

ZEMKE-WHITE, W. L. 2000. **Environmental impacts of seaweed farming in the tropics**. Report commissioned by conservation international. 89p.