

Eduardo Ribas Valduga

**AVALIAÇÃO DO EFEITO SINÉRGICO DA ACIDIFICAÇÃO E  
ESTRESSORES LOCAIS NO DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE  
ALGAS MARINHAS:  
ESTUDO DE CASO COM A ESPÉCIE DE ALGA VERMELHA  
GRACILARIA DOMINGENSIS**

Dissertação submetida ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Biologia Vegetal da Universidade  
Federal de Santa Catarina para a  
obtenção do Grau de Mestre em  
Botânica

Orientador: Prof. Dr. Paulo  
Antunes Horta

Florianópolis

2013

Valduga, Eduardo Ribas

Avaliação do efeito sinérgico da acidificação e estressores locais no desempenho fisiológico de algas marinhas [dissertação] : Estudo de caso com a espécie de alga vermelha *Gracilaria Domingensis* / Eduardo Ribas Valduga ; orientador, Paulo Antunes Horta - Florianópolis, SC, 2013.

53 p. ; 21cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal.

Inclui referências

1. Biologia Vegetal. 2. Mudança climática. 3. Acidificação dos ecossistemas costeiros. 4. Ficologia. 5. Ácido málico. I. Horta, Paulo Antunes. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal. III. Título.

Eduardo Ribas Valduga

**AVALIAÇÃO DO EFEITO SINÉRGICO DA ACIDIFICAÇÃO E  
ESTRESSORES LOCAIS NO DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE  
ALGAS MARINHAS:  
ESTUDO DE CASO COM A ESPÉCIE DE ALGA VERMELHA  
GRACILARIA DOMINGENSIS**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Botânica”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal.

Florianópolis, 21 de janeiro de 2013.

---

Prof<sup>a</sup>. Maria Alice Neves, Dr<sup>a</sup>.

Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Paulo Antunes Horta, Dr.

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof<sup>a</sup>. Aurea Randi, Dr<sup>a</sup>.

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Leonardo Rorig, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Eder Carlos Schmidt, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

De exemplo e conduta se faz a honra e a vida de um homem. Feliz daquele que tem um exemplo a seguir e ainda mais feliz aquele que tem um ótimo exemplo dentro de casa como seu pai. Este trabalho eu dedico ao meu pai, Odair Valduga que ensinou pelo seu olhar, somado à exemplos e atitudes, o caminho da honestidade. “Andar sempre entre justos no caminho do correto”. Obrigado pelo amor e pelo suor que derramou, para que eu e meus irmãos pudéssemos chegar aos nossos sonhos.



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, especialmente ao programa de Pós Graduação em Biologia Vegetal, à CAPES e ao CNPq pela infraestrutura concedida assim como pelo financiamento e manutenção das nossas unidades de cultivo, assim como a confiança que deposita no nosso programa de pós-graduação.

Agradeço ao meu orientador, Dr. Paulo Antunes Horta, que com toda paciência do mundo soube conduzir uma mente jovem e inquieta. E de maneira geral a todos que me auxiliaram na produção deste trabalho, tanto na parte operacional e manutenção dos sistemas, utilização de equipamentos para prospecção de resultados a serem analisados e demais tarefas advindas deste.

Obrigado Aline, Ana Paula da Silveira, Bruno Minardi, Cainan Echer Artaza, Cintia Martins, Eduardo Bastos, João Lucas Siqueira Rosa, Leonardo Rorig, Letícia Maria Costa Peres, Marcelo Policarpo Mikkelsen, Marina Sissini, Marinez Ribas Valduga, Pablo Diego Gressler, Rafael Souza Almeida, Ronan Caetano, Thiciane Patrycia Gonçalves dos Santos e Vanessa Andrade. Em especial a Maria Julia Silva Morossini que me ajudou e aturou este meu temperamento ruim em todos os momentos. Sem vocês isso nunca seria possível.





## RESUMO

A emissão de gases incrementa o efeito estufa e mudanças no clima; a alta concentração de CO<sub>2</sub> acumula carboxila, reduz o pH marinho e os níveis de carbonato disponível para os seres. A amplitude desta mudança oscila por vários motivos, não somente pela emissão de gases poluentes, mas também pela absorção de carbonos nos ecossistemas oceânicos. Modelos sugerem um incremento na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico de 350 para 890 Pg de C (1 Pg = 10<sup>15</sup> g). Considerando cenários conservadores nas próximas décadas teremos um aumento de temperatura da ordem de 3°C. Segundo estudos as mudanças da atmosfera e do clima desencadearam um desbalanceamento químico entre compostos como o C e N. Por ação antropogênica seriam manipulados e redistribuídos na nossa biosfera. Preocupados com os estoques naturais de algas da região de Florianópolis-SC montamos ensaios para avaliar o comportamento de *Gracilaria domingensis* em diferentes concentrações de CO<sub>2</sub> e nutrientes, simultaneamente. Colocamos 3 g da alga dentro de um erlenmeyer contendo 500 mL de água marinha e solução nutritiva. Montamos 27 réplicas iguais e mais 9 unidades sem algas (puro, somente com água), totalizando 36 unidades que foram divididas em 4 grandes grupos. Estes grupos, menos o puro, foram submetidos a 3 diferentes concentrações de CO<sub>2</sub> (Controle=ambiente, baixo=15mL/min, alto=30mL/min) em 3 diferentes concentrações nutricionais (2mL/L oligotrófico, 4mL/L mesotrófico e 6mL/L hipertrófico de solução nutritiva von Stosch). Usamos como descritor fisiológico a eficiência fotossintética, a concentração de clorofila e a taxa de crescimento das algas. Observamos como resultado que as algas aceitam o gás em sua nutrição, mas taxas elevadas deste composto diminuem sua atividade fotossintética, teor de clorofila, assim como a sua taxa de crescimento. Este resultado foi comum em mais de um ensaio. Um fato curioso foi a abrupta alteração do pH da solução em rumo à alcalinidade durante o período noturno que ocorreu nos frascos saturados pelo gás. Nossos resultados indicam a existência de um comportamento diferenciado no mecanismo de assimilação de carbono por *Gracilaria domingensis*. (Rhodophyta), se submetida a altas concentrações do gás CO<sub>2</sub>.

**Palavras Chave:** Mudança climática. Acidificação dos ecossistemas costeiros. *Peyssonnelia capensis*. *Gracilaria domingensis*. Ficologia.



## ABSTRACT

The emission of gases increases the greenhouse effect and the climate changes. The high concentration of CO<sub>2</sub> accumulates carboxyl, reduces the pH levels and the marine carbonate available to human beings. The extent of this change varies for many reasons, not only for greenhouse gas emissions, but also for the absorption of carbon in ocean ecosystems. Models suggest an increase in atmospheric CO<sub>2</sub> concentration from 350 to 890 Pg C (1 Pg = 10<sup>15</sup> g). Considering conservative scenarios in the coming decades there will be a temperature rise of around 3°C. According to studies, the atmosphere and climate changes have triggered an unbalance between nutritional compounds such as C and N, which would be manipulated and redistributed in our biosphere by anthropogenic means. Concerned with the natural stocks of algae in the region of Florianópolis-SC tests were assembled to evaluate the behavior of *Gracilaria domingensis* in different concentrations of CO<sub>2</sub> and nutrients simultaneously. 3g of algae were put into an Erlenmeyer flask containing 500mL of seawater and nutrient solution. 27 identical replicas were set up, together with 9 more units without algae (with pure water only), totalizing 36 units that were divided into 4 groups. These groups, except for the pure one, have undergone 3 different CO<sub>2</sub> concentrations (Environment Control = low environment = 15mL/min high = 30mL/min) in 3 different nutritional concentrations (2mL/oligotrophic liter, 4mL/ mesotrophic liter, and 6mL/ hypertrophic liter of a Von Stosch nutritive solution). A descriptor physiological photosynthetic efficiency was used, as well as a chlorophyll concentration and the growth rate of algae. It has been noted that, as a result, algae accept gas in their nutrition. On the other hand, high rates of this compound reduce photosynthetic activity, chlorophyll content, as well as its growth rate. This result has been common in more than one essay. A curious fact has been the abrupt change in pH solution towards alkalinity during the night, which has occurred in the saturated gas bottles. Our results have indicated that there has been a different behavior on the mechanism of carbon assimilation by *Gracilaria domingensis* (Rhodophyta), if subjected to high concentrations of CO<sub>2</sub> gas.

**Keywords:** Climate change, Acidification of coast ecosystems; *Peyssonnelia capensis*; *Gracilaria domingensis*; Phycology.

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1: FOTO AÉREA DA PRAIA DO FORTE – NOROESTE DA ILHA DE FLORIANÓPOLIS. .... 29
- FIGURA 2: A) MOSTRANDO A CONFIGURAÇÃO DO ERLENMEYER UTILIZADA NO TESTE; B) BANCADA DE TESTES COM 36 UNIDADES..... 30
- FIGURA 4: VARIABILIDADE DAS MÉDIAS DOS VALORES DE PH AO LONGO DO PERÍODO DE CULTIVO, CONSIDERANDO TEORES SIMULADOS DE CO<sub>2</sub> RELATIVOS AOS ATUAIS (A), DE 2100 (B) E DE 2200 (C), SEGUNDOS O TEORES DE NUTRIENTES INORGÂNICOS (LINHA AZUL: HIPERTRÓFICO; LINHA VERMELHA: MESOTRÓFICO; LINHA VERDE: OLIGOTRÓFICO) DISSOLVIDOS. .... 32
- FIGURA 5: MÉDIA DOS VALORES DE ETRR MÉDIA, PARÂMETRO AVALIADO A PARTIR DA FLUORESCÊNCIA, RELATIVOS AO DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE GRACILARIA DOMINGENSIS, CONSIDERANDO DIFERENTES NÍVEIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (ATUAL, E PREVISTOS PARA 2100 E 2200, QUE PROMOVERAM PHS DA ORDEM DE 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) E 6,0 (+/- 0,2), RESPECTIVAMENTE) E DIFERENTES TEORES DE NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS, SIMULANDO AMBIENTES OLIGO, MESO E HIPERTRÓFICOS (ONDE: N=3; BARRAS= DESVIO PADRÃO, LETRAS DIFERENTES SIGNIFICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS, CONSIDERANDO O TESTE A POSTERIORI NEWMAN-KEULS). .... 33
- FIGURA 6: MÉDIA DOS VALORES DE ALFA, PARÂMETRO AVALIADO A PARTIR DA FLUORESCÊNCIA, RELATIVOS AO DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE GRACILARIA DOMINGENSIS, CONSIDERANDO DIFERENTES NÍVEIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (ATUAL, E PREVISTOS PARA 2100 E 2200, QUE PROMOVERAM PHS DA ORDEM DE 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) E 6,0 (+/- 0,2), RESPECTIVAMENTE) E DIFERENTES TEORES DE NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS, SIMULANDO AMBIENTES OLIGO, MESO E HIPERTRÓFICOS (ONDE: N=3; BARRAS= DESVIO PADRÃO,

LETRAS DIFERENTES SIGNIFICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS, CONSIDERANDO O TESTE A POSTERIORI NEWMAN-KEULS).....	34
FIGURA 7: MÉDIA DOS VALORES DE IK, PARÂMETRO AVALIADO A PARTIR DA FLUORESCÊNCIA, RELATIVOS AO DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE <i>GRACILARIA DOMINGENSIS</i> , CONSIDERANDO DIFERENTES NÍVEIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (ATUAL, E PREVISTOS PARA 2100 E 2200, QUE PROMOVERAM PHS DA ORDEM DE 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) E 6,0 (+/- 0,2), RESPECTIVAMENTE) E DIFERENTES TEORES DE NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS, SIMULANDO AMBIENTES OLIGO, MESO E HIPERTRÓFICOS (ONDE: N=3; BARRAS= DESVIO PADRÃO).....	35
FIGURA 8: MÉDIA DOS VALORES DE P <sub>MAX</sub> , PARÂMETRO AVALIADO A PARTIR DA FLUORESCÊNCIA, RELATIVOS AO DESEMPENHO FISIOLÓGICO DE <i>GRACILARIA DOMINGENSIS</i> , CONSIDERANDO SINÉRGICO DE DIFERENTES NÍVEIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (ATUAL, E PREVISTOS PARA 2100 E 2200, QUE PROMOVERAM PHS DA ORDEM DE 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) E 6,0 (+/- 0,2), RESPECTIVAMENTE) E DIFERENTES TEORES DE NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS, SIMULANDO AMBIENTES OLIGO, MESO E HIPERTRÓFICOS (ONDE: N=3; BARRAS= DESVIO PADRÃO, LETRAS DIFERENTES SIGNIFICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS, CONSIDERANDO O TESTE A POSTERIORI NEWMAN-KEULS). ....	35
FIGURA 9: MÉDIA DOS VALORES DE TCRS, PARÂMETRO AVALIADO A PARTIR DA VARIAÇÃO DO PESO ÚMIDO DO INÍCIO E FINAL DO EXPERIMENTO, DE <i>GRACILARIA DOMINGENSIS</i> , CONSIDERANDO DIFERENTES NÍVEIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (ATUAL, E PREVISTOS PARA 2100 E 2200, QUE PROMOVERAM PHS DA ORDEM DE 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) E 6,0 (+/- 0,2), RESPECTIVAMENTE) E DIFERENTES TEORES DE NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS, SIMULANDO AMBIENTES OLIGO, MESO E HIPERTRÓFICOS (ONDE: N=3; BARRAS= DESVIO PADRÃO).....	36

FIGURA 10: MÉDIA DOS VALORES DO TEOR DE ÁCIDO MÁLICO DE *GRACILARIA DOMINGENSIS*, CONSIDERANDO O EFEITO SINÉRGICO DE DIFERENTES NÍVEIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (ATUAL, E PREVISTOS PARA 2100 E 2200, QUE PROMOVERAM PHS DA ORDEM DE 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) E 6,0 (+/- 0,2), RESPECTIVAMENTE) E DIFERENTES TEORES DE NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS, SIMULANDO AMBIENTES OLIGO, MESO E HIPERTRÓFICOS (ONDE: N=3; BARRAS= DESVIO PADRÃO, LETRAS DIFERENTES SIGNIFICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS, CONSIDERANDO O TESTE A POSTERIORI NEWMAN-KEULS). ..... 37

FIGURA 11: MÉDIA DOS VALORES DE CLOROFILA DE *GRACILARIA DOMINGENSIS*, CONSIDERANDO O EFEITO SINÉRGICO DE DIFERENTES NÍVEIS DE DIÓXIDO DE CARBONO (ATUAL, E PREVISTOS PARA 2100 E 2200, QUE PROMOVERAM PHS DA ORDEM DE 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) E 6,0 (+/- 0,2), RESPECTIVAMENTE) E DIFERENTES TEORES DE NUTRIENTES INORGÂNICOS DISSOLVIDOS, SIMULANDO AMBIENTES OLIGO, MESO E HIPERTRÓFICOS (ONDE: N=3; BARRAS= DESVIO PADRÃO, LETRAS DIFERENTES SIGNIFICAM DIFERENÇAS SIGNIFICATIVAS, CONSIDERANDO O TESTE A POSTERIORI NEWMAN-KEULS). ..... 37





## **LISTA DE TABELAS**

TABELA 1: CONTROLE DE TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO REALIZADO NA SALA DE CULTIVO DO LAFIC (CONCENTRAÇÃO PARA ERLLENMEYER DE 500 ML).....	31
TABELA 2: DETALHAMENTO DA SOLUÇÃO DE CULTIVO PADRÃO VON STOSCH PREPARADA SEGUNDO YOKOYA (2000).....	32



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Alfa: ângulo registrado no início da curva de eficiência fotossintética (ETRr) representando a aceleração do fotossistema em rumo ao Pmax.

Capex: Coordenação de aperfeiçoamento pessoal de nível superior.

CNPq: Conselho Nacional de Pesquisa.

ETR: linha fitada matematicamente descritora da atividade fotossintética.

FAO: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação

IPCC: Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas.

Ik: incidência fotossintética máxima.

LAFIC: Laboratório de Ficologia.

MEV: Microscopia Eletrônica por Varredura.

MO: Matéria Orgânica.

PAM: Pulso de Amplitude Modulada.

pH: potencial de hidrogênio.

Pmax: Ponto de fluorescência máxima.

TCR: Taxa de Crescimento Relativo.

UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>1.1. OBJETIVOS .....</b>	<b>28</b>
1.1.1. Objetivo Geral.....	28
1.2.2. Objetivos específicos.....	28
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>43</b>





## 1. INTRODUÇÃO

O litoral brasileiro com seus mais de 8 mil km de extensão se destaca pela ocorrência de alguns gêneros de macroalgas com importância econômica mundial. Dentre eles a agarófita *Gracilaria* (Rhodophyta) que vem sendo cultivada experimentalmente a mais de 3 décadas em nosso litoral (Salles et al. 2010). Apesar dos bancos mono específicos destas macroalgas serem relativamente pobres em nossa costa, em comparação com regiões de águas temperadas e frias (Oliveira 1997), estes vêm sendo alvo da exploração predatória, principalmente no nordeste brasileiro (Miranda e Oliveira, 1996). Além da importância econômica do gênero em questão, deve-se destacar seu relevante papel ecológico, pois seus bancos representam substrato, abrigo e alimento para espécies importantes e emblemáticas para a conservação em nosso litoral, como o peixe boi e a tartaruga verde (Santos et al. 2011). Desta forma, o conhecimento de sua ecofisiologia é indispensável para que ações que visem seu uso sustentável ou mesmo sua preservação sejam guiadas por subsídios concretos gerados a partir das mais diferentes populações.

Por outro lado é importante que o conhecimento já obtido do seu comportamento fisiológico seja atrelado aos cenários previstos ou já produzidos pelas mudanças climáticas globais ou mesmo pelos estressores locais. Resultantes dos impactos da ocupação humana em áreas costeiras, diferentes estressores locais, destaca-se o incremento de nutrientes que vem sendo promovido por diferentes atividades antrópicas, (Cai et al, 2011). Em todo o planeta vem crescendo a aquicultura, através de unidades de cultivo de peixes, moluscos, e crustáceos que além de gerar perda de habitat promovem a fertilização dos ambientes adjacentes (Poli et al, 2004). Estas atividades, assim como muitas outras realizadas em regiões costeiras, atraem um grande contingente humano (Budva & Montenegro, 2010) que por sua vez potencializa esse processo de fertilização. Atualmente mais de 25% da produção mundial de alimentos marinhos é proveniente de aquicultura, segundo FAO, sendo que esta prevê que até 2030 este percentual se aproximará dos 50% (FAO 2010). No Brasil e especialmente na região sul a evolução da cadeia produtiva produz cerca de 90 % dos moluscos marinhos consumidos no país (Ferreira em aula seguindo dados do LMM UFSC), já tornando perceptível a degradação da comunidade



bentônica relacionada às áreas de produção no sul do país (Blankensteyn, 2006).

É indiscutível que estes impactos derivados da aquicultura se confundem muitas vezes, ou mesmo, são menos importantes, que aqueles gerados pela urbanização das áreas costeiras (Bouzon et al. 2006). Em nosso litoral assim como em outros tantos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, boa parte do esgoto gerado é despejado total ou parcialmente sem tratamento nas bacias hidrográficas que drenam para o mar. Dentre os impactos relacionados a este processo de fertilização das áreas costeiras estão a perda de abundância (Bouzon, 2005) e a redução de riqueza nos ambientes urbanizados (Horta et al. 2012). E vale destacar que as espécies de *Gracilaria* encontram-se no grupo das espécies que apresentam maior sensibilidade aos valores mais elevados de nutrientes inorgânicos dissolvidos, principalmente ricos em amônio (Chow et al, 2007).

Este cenário se torna ainda mais preocupante quando considerados os processos ambientais relacionados às mudanças climáticas que podem potencializar os impactos dos estressores locais (Russel et al. 2009). Previsões conservadoras têm alertado para a intensificação de tempestades, aumento do nível oceânico além do reconhecido aumento da temperatura segundo o Painel Intergovernamental das Mudanças Climáticas (IPCC 2007). Atividades humanas, em especial a queima de combustíveis fósseis, liberam gases como o CO<sub>2</sub> que incrementam o efeito estufa em nossa atmosfera, acelerando as mudanças climáticas do nosso planeta causando a acidificação dos oceanos (Blackford J et al, 2009). A amplitude destas mudanças varia por vários motivos, não somente pela emissão de gases poluentes, mas também pela absorção de carbono nos ecossistemas oceânicos. Modelos baseados em dados deste painel (IPCC) sugerem que o incremento na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico passará de 350 para 890 Ponto grama de carbono (1 Pg. = 10<sup>15</sup> gramas) que se acumularão na biosfera terrestre até 2100. Por este motivo nossos testes incluíram concentrações iguais e maiores que esta para simular atmosferas futuras (2100 e 2200 D.C.) Este acréscimo equivale a uma mudança de 22 para 57% das emissões de CO<sub>2</sub> inseridas neste cenário (Hungate et al.2003). Segundo Crabbe (2009) as elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera estão desencadeando importante redução no pH marinho e dos níveis de carbonatos disponíveis para os seres marinhos, como corais e algas calcárias, com maior intensidade entre os trópicos. Hungate et al. (2003) destacaram também que as mudanças do nosso

clima relacionadas às ações antrópicas promoveram a redistribuição dos estoques de C e N na nossa atmosfera, com consequências ambientais ainda desconhecidas.

A combinação de impactos diversos sobre os organismos marinhos, apesar do extraordinário crescimento acadêmico na última década (Budenbender et al, 2011), observa-se ainda uma carência de experimentos realizados com espécies tropicais, especialmente com macroalgas marinhas (Wernberg et al. 2012). A abordagem experimental passa a ser imprescindível para o estabelecimento de relações de causa / efeito entre os fatores físicos e químicos associados às mudanças climáticas, estressores locais e as respostas eco fisiológicas dos organismos com os ambientes costeiros. Estas informações são imprescindíveis para se aprimorar os modelos preditivos orientando ações de manejo e mitigação dos impactos relacionados à esses distúrbios. Desta forma a análise do efeito combinado da acidificação com a elevação de nutrientes sobre o desempenho fisiológico da agarófita *Gracilaria domingensis*, (Kützing - Sonder ex Dickie, 1874) não só representa informação relevante para ações relacionadas à conservação de seus bancos naturais como também fornece subsídios para sua eventual utilização como filtro biológico, em cultivos consorciados ou multitróficos, considerando as diferentes previsões relacionadas à atmosfera futura do planeta. Apesar dos princípios de Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) serem conhecidos há séculos o sistema monotrófico domina a aquicultura no planeta. Mesmo com os avanços obtidos nas últimas décadas (Alencar et al. 2005 e 2010), e dos métodos para os sistemas integrados de produção estarem relativamente estabelecidos (Martins R.V., 2000), sua utilização se resume aos estudos acadêmicos, com poucos exemplos de aplicações práticas em escala comercial. Partindo da hipótese de que a combinação da elevação de CO<sub>2</sub> e do teor de nutrientes prejudica o desempenho fisiológico de *Gracilaria domingensis*, o presente trabalho fornece subsídios para que esta espécie, assim como qualquer outra ecologicamente equivalente, seja futuramente considerada em sistemas multitrófico de produção aquícola, onde os teores de nutrientes dissolvidos são tradicionalmente elevados, em uma atmosfera futura com concentrações mais elevadas de dióxido de carbono.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar o efeito de diferentes concentrações de CO<sub>2</sub> e nutrientes (solução padrão von Stosch – Tabela 2) dissolvidos sobre o desempenho fisiológico de *Gracilaria domingensis* em condições controladas.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Avaliar os efeitos do CO<sub>2</sub> combinado com diferentes teores de nutrientes inorgânicos dissolvidos sobre o desempenho fotossintético da *Gracilaria domingensis*, utilizando-se de um Fluorômetro de Pulso Modulado com fonte de descritores do estado fisiológico;

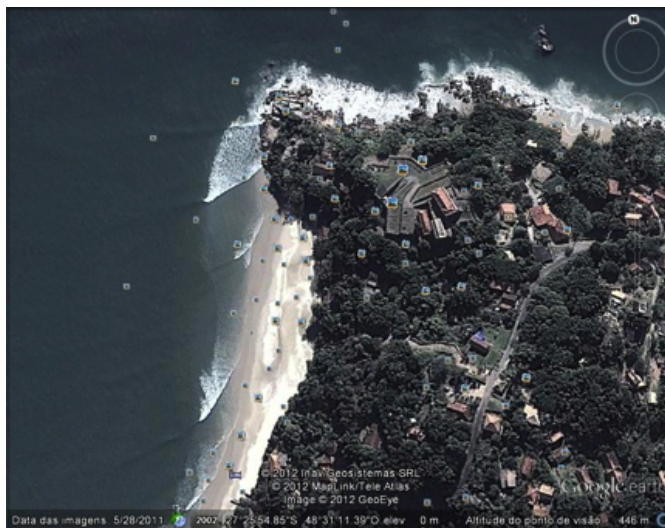
- Avaliar o efeito dos referidos tratamentos nas concentrações de Clorofila *a*.

- Avaliar a produção de ácido málico com o intuito de analisar vias alternativas de fixação de carbono.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos foram realizados no Laboratório de Ficologia (LAFIC), da Universidade Federal de Santa Catarina durante o período de outubro de 2011 a novembro de 2012. Para cada uma destas rodadas experimentais os espécimes utilizados foram coletados de diferentes pontos dentro da população da espécie *Gracilaria domingensis* da Praia do Forte (27°26'13"S 48°31'3"W – noroeste da Ilha de Florianópolis).

Figura 1: Foto aérea da praia do Forte – noroeste da ilha de Florianópolis.



Para entendermos os efeitos da adição de  $\text{CO}_2$  no desempenho fisiológico das algas em análise, idealizamos um teste, onde colocamos lotes amostrais contendo 3 gramas de ápices de talos não férteis previamente limpos e padronizados segundo o padrão de ramificação de *G.domingensis* em erlenmeyers de 500 mL, em água do mar filtrada (filtração mecânica da água por peneira de 40 micras e esterilização por Ultra Violeta). As culturas foram mantidas sob irradiação constante de  $140 \mu\text{mol}$  de fótons por  $\text{mm}^2$ . Em fotoperíodo de 12/12 horas de claro/escuro.

Para a simulação das diferentes concentrações de nutrientes, ou estressores locais, os tratamentos foram enriquecidos com nutrientes inorgânicos dissolvidos, representados pelo meio de cultura von Stosch (Oliveira et al. 1995) que foram ministrados em três diferentes concentrações (2, 4 e 6 mL/L) simulando concentrações observadas em ambientes oligotróficos, mesotróficos e hipertrófico, respectivamente.

Para a simulação das diferentes concentrações de  $\text{CO}_2$ , o referido gás foi borbulhado com diferentes intensidades nas soluções de cultivo.

Considerando que medições preliminares evidenciaram que uma bolha representava um volume de 0,1 mL, considerando o número de bolha por unidade de tempo, promoveu-se o incremento de 30 mL de CO<sub>2</sub>/min (alta vazão), 15mL de CO<sub>2</sub>/min (Baixa vazão), mantendo unidade controle (sem adição de CO<sub>2</sub>) onde só foi injetado ar comprimido assim como nos demais tratamentos com uma vazão de 50 mL de ar/min. O referido volume foi aferido e mantido à temperatura ambiente e pressão de 3,5 kgf/cm<sup>2</sup>). A referida injeção de CO<sub>2</sub> resultou em redução de pH dos tratamentos, chegando a valores previstos para 2100 (pH 7 +/-0,2), na baixa vazão e 2200 (pH 6 +/- 0,2) na vazão mais elevada de CO<sub>2</sub>. Os controles o pH variaram ao redor de 8,0 (+/- 0,2), considerando as concentrações atmosféricas ao nível do mar (1atm/ a 25°C ). O gás utilizado foi do tipo Carbônico engarrafado, liquefeito sob pressão, envasado em cilindro de aço de 25Kg, pela AIR LIQUIDE BRASIL LTDA - Av. das Nações Unidas,11541-19º andar Brooklin Novo SP/SP. O gás foi administrado utilizando uma válvula analógica (UNITEC).

Considerando os fatores descritos acima o experimento foi montado com 3 réplicas para cada uma das combinações possíveis do conjunto de fatores, que foram dispostas aleatoriamente em culturas com temperatura constante de 18°C. Ao lado de cada tratamento foi mantido recipiente idêntico contendo apenas água para se verificar variações naturais da solubilidade de gases na água do mar em função das diferentes concentrações.

Figura 2: a) mostrando a configuração do erlenmeyer utilizada no teste; b) bancada de testes com 36 unidades.

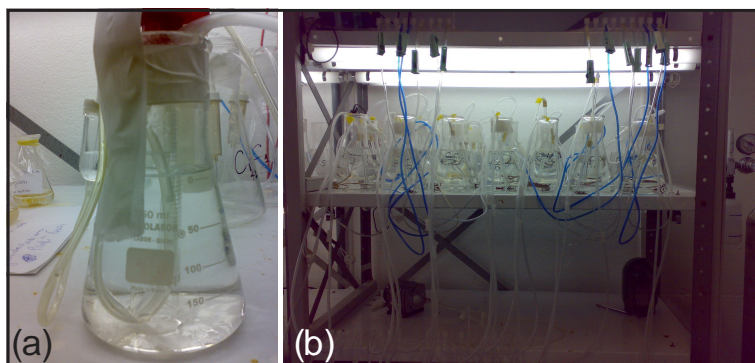


Tabela 1: Controle de tratamentos do experimento realizado na sala de cultivo do LAFIC (concentração para erlenmeyer de 500 mL).

Nutriente	Baixa concentração de CO <sub>2</sub> *	Alta concentração de CO <sub>2</sub> **	Controle***	Puro****
1mL	B7, B8, B9	A7, A8, A9	C7, C8, C9	P7, P8, P9
2mL	B1, B2, B3	A1, A2, A3	C1, C2, C3	P1, P2, P3
3mL	B4, B5, B6	A4, A5, A6	C4, C5, C6	P4, P5, P6

\* Possui injeção de ar comprimido (volume para manter a circulação das algas) e CO<sub>2</sub> (15 mL/minuto);

\*\* Possui injeção de ar comprimido (volume para manter a circulação das algas) e CO<sub>2</sub> (30 mL/minuto);

\*\*\* Possui somente injeção de ar comprimido (volume para manter a circulação das algas);

\*\*\*\* Não possui injeção de ar comprimido e nem de CO<sub>2</sub>.

### 3. METODOLOGIA.

Diariamente ao longo de cinco dias, em cada uma das rodadas experimentais foram aferidos o pH da água e a temperatura da sala que era de 18°C. Estas medições foram feitas sistematicamente, em ordem aleatória em relação aos diferentes tratamentos, às 02, 04, 06, 08, 12, 16, 20 e 24 horas ao longo de todo o experimento.

No início e no final do experimento foi quantificada a biomassa fresca da macroalga (Balança Bioprecisa), assim como a concentração de clorofila a. As medidas realizadas com o Fluorímetro de pulso de amplitude modulada (Diving PAM) proporcionam informações sobre a taxa de transporte de elétrons, uma forma de expressar a eficiência fotossintética dos indivíduos no momento do teste (Beer et al, 1998). Estes dados foram submetidos à equação de Platt (Ritchie, 2008) gerando uma informação gráfica visual com base em uma curva de dados biológicos fitada por esta equação, que demonstra ser eficiente na expressão e apresentação das curvas de eficiência fotossintética dos espécimes testados. Além disso, uma amostra de um grama foi retirada da biomassa de cada erlenmeyer para quantificação de ácido málico (kit

de quantificação ácida por ação enzimática da empresa Megazyme International Ireland, Bray Business Park, Bray, Co. Wicklow, Ireland. E-mail: info@megazyme.com).

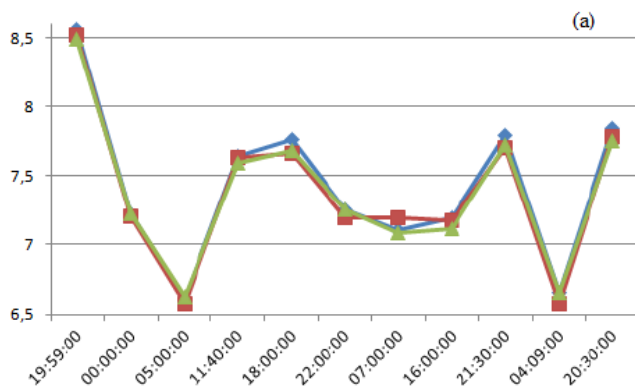
Tabela 2: Detalhamento da solução de cultivo padrão von Stosch preparada segundo Yokoya (2000).

Componentes	Concentração para um litro
NaNO <sub>3</sub>	42,5000 mg
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .12H <sub>2</sub> O	10,7500 mg
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,2780 mg
MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	0,0198 mg
Na <sub>2</sub> EDTA.2H <sub>2</sub> O	3,7200 mg
Tiamina. HCl	100,0000 ug *
Biotina	0,5000 ug *
Cianocobalamina	0,5000 ug *

\* Concentrações equivalentes a 50% em relação à composição original proposta por Edwards (1970)

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Figura 3: Variabilidade das médias dos valores de pH ao longo do período de cultivo, considerando teores simulados de CO<sub>2</sub> relativos aos atuais (a), de 2100 (b) e de 2200 (c), segundos o teores de nutrientes inorgânicos (linha azul: hipertrófico; linha vermelha: mesotrófico; linha verde: oligotrófico) dissolvidos.



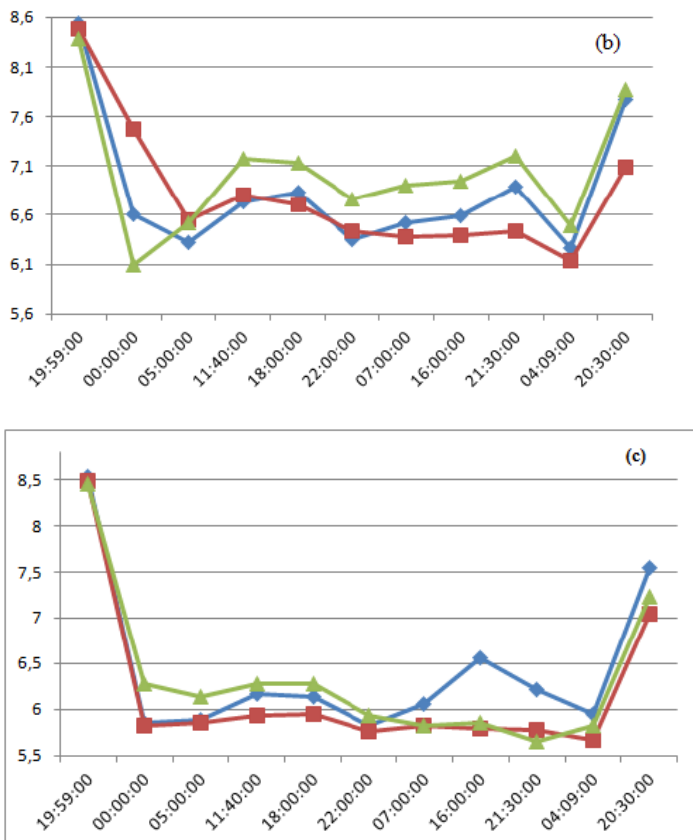


Figura 4: Média dos valores de ETRr média, parâmetro avaliado a partir da fluorescência, relativos ao desempenho fisiológico de *Gracilaria domingensis*, considerando diferentes níveis de dióxido de carbono (atual, e previstos para 2100 e 2200, que promoveram pHs da ordem de 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) e 6,0 (+/- 0,2), respectivamente) e diferentes teores de nutrientes inorgânicos dissolvidos, simulando ambientes oligo, meso e hipertróficos (onde: n=3; barras= desvio padrão, letras diferentes significam diferenças significativas, considerando o teste a posteriori Newman-Keuls).



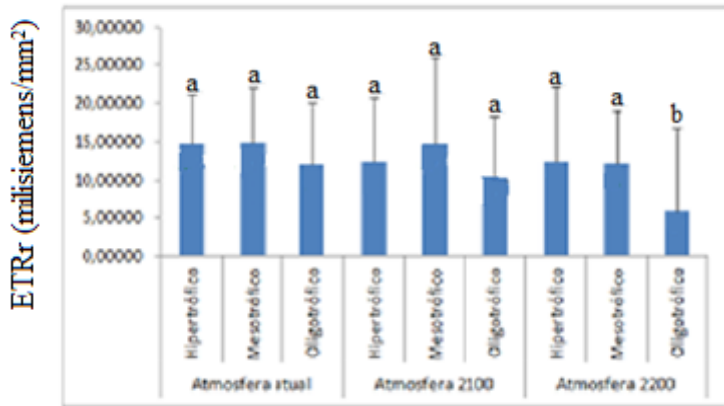


Figura 5: Média dos valores de alfa, parâmetro avaliado a partir da fluorescência, relativos ao desempenho fisiológico de *Gracilaria domingensis*, considerando diferentes níveis de dióxido de carbono (atual, e previstos para 2100 e 2200, que promoveram pHs da ordem de 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) e 6,0 (+/- 0,2), respectivamente) e diferentes teores de nutrientes inorgânicos dissolvidos, simulando ambientes oligo, meso e hipertróficos (onde: n=3; barras= desvio padrão, letras diferentes significam diferenças significativas, considerando o teste a posteriori Newman-Keuls).

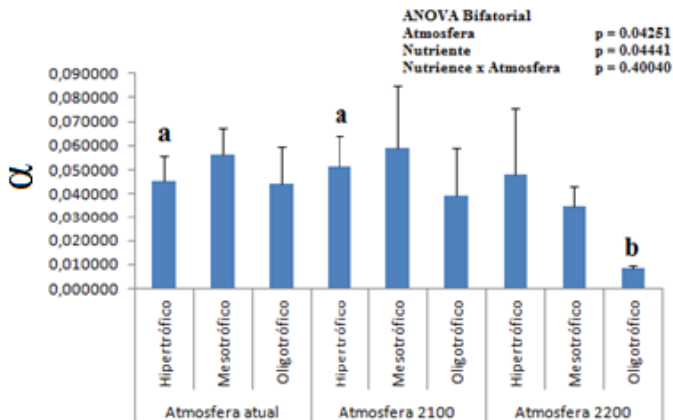


Figura 6: Média dos valores de  $iK$ , parâmetro avaliado a partir da fluorescência, relativos ao desempenho fisiológico de *Gracilaria domingensis*, considerando diferentes níveis de dióxido de carbono (atual, e previstos para 2100 e 2200, que promoveram pHs da ordem de 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) e 6,0 (+/- 0,2), respectivamente) e diferentes teores de nutrientes inorgânicos dissolvidos, simulando ambientes oligo, meso e hipertróficos (onde: n=3; barras= desvio padrão).

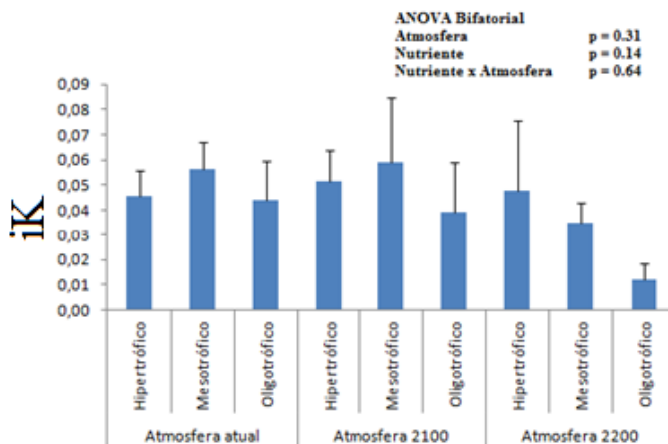


Figura 7: Média dos valores de  $p_{max}$ , parâmetro avaliado a partir da fluorescência, relativos ao desempenho fisiológico de *Gracilaria domingensis*, considerando sinérgico de diferentes níveis de dióxido de carbono (atual, e previstos para 2100 e 2200, que promoveram pHs da ordem de 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) e 6,0 (+/- 0,2), respectivamente) e diferentes teores de nutrientes inorgânicos dissolvidos, simulando ambientes oligo, meso e hipertróficos (onde: n=3; barras= desvio padrão, letras diferentes significam diferenças significativas, considerando o teste a posteriori Newman-Keuls).

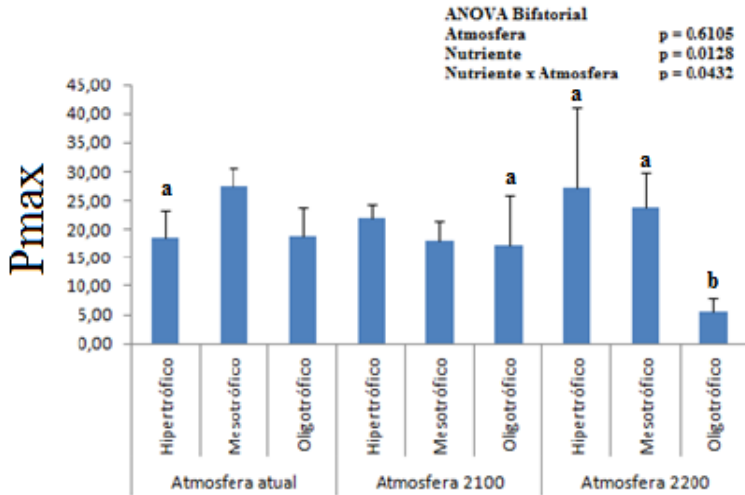


Figura 8: Média dos valores de TCRs, parâmetro avaliado a partir da variação do peso úmido do início e final do experimento, de *Gracilaria domingensis*, considerando diferentes níveis de dióxido de carbono (atual, e previstos para 2100 e 2200, que promoveram pHs da ordem de 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) e 6,0 (+/- 0,2), respectivamente) e diferentes teores de nutrientes inorgânicos dissolvidos, simulando ambientes oligo, meso e hipertróficos (onde: n=3; barras= desvio padrão).

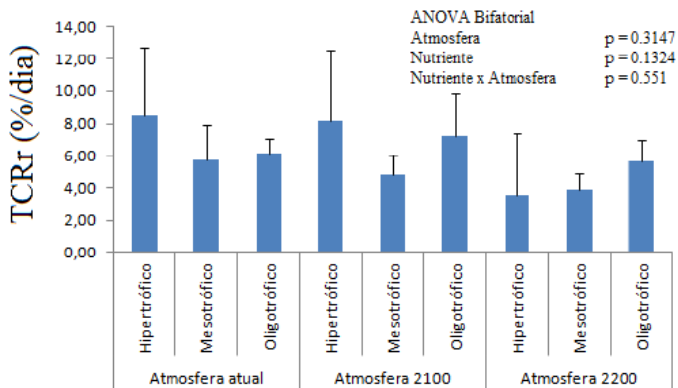


Figura 9: Média dos valores do teor de ácido málico de *Gracilaria domingensis*, considerando o efeito sinérgico de diferentes níveis de dióxido de carbono (atual, e previstos para 2100 e 2200, que promoveram pHs da ordem de 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) e 6,0 (+/- 0,2), respectivamente) e diferentes teores de nutrientes inorgânicos dissolvidos, simulando ambientes oligo, meso e hipertróficos (onde: n=3; barras= desvio padrão, letras diferentes significam diferenças significativas, considerando o teste a posteriori Newman-Keuls).

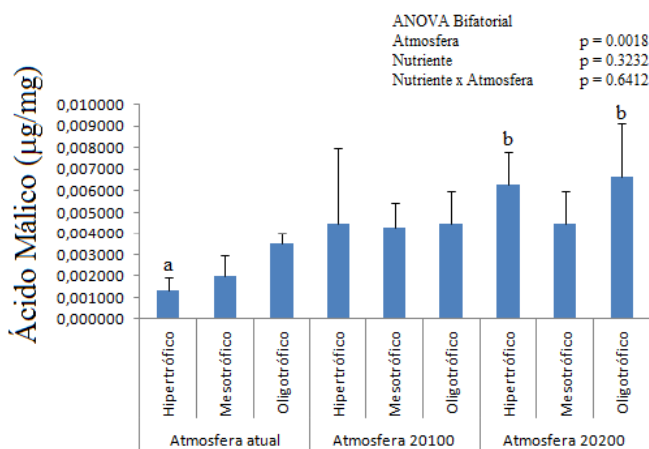
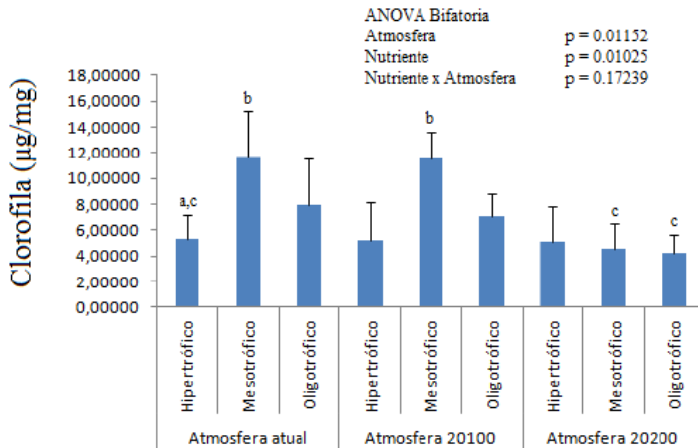


Figura 10: Média dos valores de Clorofila de *Gracilaria domingensis*, considerando o efeito sinérgico de diferentes níveis de dióxido de carbono (atual, e previstos para 2100 e 2200, que promoveram pHs da ordem de 8,0 (+/- 0,2), 7,0 (+/- 0,2) e 6,0 (+/- 0,2), respectivamente) e diferentes teores de nutrientes inorgânicos dissolvidos, simulando ambientes oligo, meso e hipertróficos (onde: n=3; barras= desvio padrão, letras diferentes significam diferenças significativas, considerando o teste a posteriori Newman-Keuls).



Os fatores relacionados com as mudanças do clima do planeta vêm sendo descritos como determinantes na alteração do comportamento fisiológico ou mesmo ecológico de diferentes grupos de organismos. No presente trabalho a espécie *Gracilaria domingensis* apresentou alterações importantes em seu comportamento fisiológico quando exposta ao efeito combinado de diferentes concentrações de nutrientes e teores de CO<sub>2</sub>. De maneira isolada e superficial o CO<sub>2</sub>, assim como os demais substratos necessários para a realização da fotossíntese, quando fornecidos em condições moderadas resultam em elevação dos valores dos diferentes descritores avaliados. Da mesma forma, valores intermediários de nutrientes resultaram em melhoria das respostas fisiológicas.

Existe farto referencial teórico tratando destes aspectos no âmbito da fisiologia ou aquicultura do referido grupo. No Brasil, pesquisadores como os Drs. Eurico Cabral de Oliveira, Nair Yokoya e Estela Plastino, produziram ao longo das últimas décadas informações importantes sobre as afinidades das diferentes espécies do gênero *Gracilaria* em relação aos nutrientes disponíveis (Oliveira et al. 2000, Marinho- Soriano & Morales 2002). Mais recentemente, Salles et al. (2010) documentaram o desempenho fisiológico da espécie em questão para áreas próximas de onde foram coletados os exemplares para o experimentos apresentados neste manuscrito. Naquele trabalho os resultados apresentados corroboraram com os resultados do presente trabalho, pois os ensaios

realizados pelos referido autores sustentam a capacidade da espécie de crescer sob elevadas taxas de nutrientes inorgânicos dissolvidos. Da mesma forma, Figueroa et al. (2010), caracterizando o comportamento fisiológico de *G. conferta*, relataram ETRs maiores em condições de nutrientes elevados em relação às condições de baixas concentrações de nutrientes. Por outro lado, as concentrações extremas resultaram especialmente em redução na síntese de clorofila. Esta redução pode estar relacionada ao estresse oxidativo do acumulado de espécies reativas de oxigênio no interior celular, uma vez que as limitações impostas pela luz, assim como observado por Zou & Gao (2009) em *Gracilaria lemaneiformis*, impedem que o organismo se desenvolva plenamente e consuma o excesso de  $\text{NH}_4^-$ , assim como outras formas de nitrogênio com elevado poder oxirredutor, presente no citoplasma.

A elevação dos teores de  $\text{CO}_2$ , assim como observado por Cai et al. (2011), resultou muitas vezes em elevações dos valores dos descritores utilizados. Tal comportamento é esperado por ser o referido gás substrato para a fotossíntese como comentado anteriormente. Entretanto nossos resultados revelam que mesmo em condições extremas com valores de pH variando ao redor de 6, as algas continuam fotossintetizando como já documentado para ambientes naturalmente acidificados por ventos vulcânicos de  $\text{CO}_2$ . (Porzio et al. 2011).

Conforme a concentração de  $\text{CO}_2$  foi alterada, observou-se redução do pH, derivada da reação do referido gás com a água e consequente liberação de prótons ( $\text{H}^+$ ) e  $\text{HCO}_3^-$ . Com esta redução do pH a níveis extremos, constatou-se uma relativa inibição do fotossistema II, com consequente redução das ETRs, alfa, ik, pmax e da concentração de clorofila  $\alpha$  (Figuras 4, 5, 6, 7 e 10). Assim como observado no caso dos ambientes hipertróficos, o excesso de  $\text{HCO}_3^-$ , no citoplasma pode igualmente produzir estresse oxidativo e limitar o desempenho fisiológico desses organismos.

Entretanto quando combinados os teores mais altos de nutrientes com os mais altos de  $\text{CO}_2$  o desempenho fisiológico foi muitas vezes desestimulado (Figura 4). Russel et al. (2009) avaliando o efeito sinérgico de teores elevados de  $\text{CO}_2$  e ambientes mais ou menos eutrofizados, os autores avaliaram que especialmente espécies de algas filamentosas têm seu desempenho favorecido com a combinação dos referidos fatores. Dessa forma se espera em condições que simulam as atmosferas futuras com as concentrações de nutrientes elevadas

apresentem valores médios superiores em relação aos tratamentos com limitação de CO<sub>2</sub> e nutrientes, assim como já observado por Xu et al (2010).

O pH inicial do sistema foi de 8,2 variando em média ao redor de 7,5 no sistema que simulou a atmosfera atual, em torno de 7,0 no sistema simulando a atmosfera de 2100 e em torno de 6,0 no sistema simulando a atmosfera de 2200 (Figura 3). Em todos os sistemas os valores mais baixos foram observados das 22 e 05 hs, enquanto o sistema foi mantido no escuro, devido o aumento de CO<sub>2</sub> pela respiração. Curiosamente, nesse período foi observada tendência de variação positiva no final da noite, quando as taxas de pH, principalmente do sistema simulando a atmosfera de 2200, subia de valores próximos de 6 para 6,5. Porém os valores de pH não foram significativamente influenciados pela adição de nutrientes.

Os valores de ETRr (Figura 4) foram máximos nos sistemas simulando a atmosfera atual e de 2100, no sistema hiper – atmosfera atual (14,93 $\mu\text{mol}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e 2100 (12,47 $\mu\text{mol}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e mesotrófico – atmosfera atual (15,26 $\mu\text{mol}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e 2100 (14,95 $\mu\text{mol}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), sendo estes valores significativamente mais altos que aqueles observados na presença de concentrações maiores de CO<sub>2</sub>, combinada, aos baixos teores de nutrientes do sistema oligotrófico – atmosfera atual (12,24 $\mu\text{mol}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e 2200 (10,30 $\mu\text{mol}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (Figura 4). A tendência de desempenho fisiológico inferior na atmosfera de 2200 em sistemas oligotróficos foi mantida nos demais descritores derivados da fluorometria. Os valores de alfa revelaram diferenças significativas considerando as variáveis independentes isoladamente, sendo de maneira geral os valores observados no sistema oligotrófico e na atmosfera de 2200 (0,008610) inferiores aos seus relativos (Figura 05). Apesar de apresentar tendências semelhantes os valores de iK não foram significativamente distintos (Figura 06). Por outro lado os valores de Pmax – Oligo (18,94 $\mu\text{mol de elétrons}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ), Meso (27,51 $\mu\text{mol de elétrons}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e Hipertrófico (27,14 $\mu\text{mol de elétrons}\cdot\text{mm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) - apresentaram de maneira destacada interação significativa entre as variáveis independentes, sendo que os nutrientes foram especialmente importantes na potencialização das diferenças observadas (Figura 07).

Por outro lado os valores de ácido málico foram significativamente superiores nas atmosferas futuras (atual - 0,003486mg/g, 2100 - 0,004482mg/g e 2200 - 0,00664mg/g), não sendo

observadas diferenças significativas relacionadas à adição de nutrientes (Figura 09). Seguindo as tendências observadas em relação aos descritores derivados da fluorescências os valores de Clorofila a variaram significativamente em relação às diferentes concentrações de nutrientes – oligo variou entre 4,197 e 7,980; meso entre 4,608 e 11,71; hipertrófico entre 5,098 e 5,353 - e CO<sub>2</sub> – atmosfera atual variou de 5,353 e 11,71; 2100 variou entre 5,268 e 11,50; 2200 variou entre 4,197 e 5,098 -, entretanto a interação destes fatores não promoveu diferenças (Figura 10).

As Taxas de crescimento relativo (TCRs) não apresentaram diferenças significativas (Figura 08) entre os tratamentos (alto - 2200, baixo - 2100 e controle - atual) que sofreram interferência das 3 diferentes concentrações nutricionais (oligo, meso e hipernutritivo) estudadas em cada volume de gás ministrado. O elemento CO<sub>2</sub> é nutriente essencial para estas algas e é visível nos resultados a sua interferência, como relatado por Cai et al (2011). Os grupos onde tivemos injeção de gás sendo meso (7,211%.dia<sup>-1</sup>) ou hipernutritivo (8,151%.dia<sup>-1</sup>) mostraram crescimento significativamente maior que os grupos oligotróficos (4,772%.dia<sup>-1</sup>) com alta concentração de gás na atmosfera de 2100.

Estes resultados nos mostram a dificuldade que os seres autotróficos sintetizantes terão em enfrentar as atmosferas acidificadas no futuro 2200, pois neste momento o excesso dos compostos que promovem a acidez marinha, também inibem a atividade dos pigmentos fotossintetizantes (Clorofila a – Figura 10).

Existe uma diferença significativa na concentração de ácido málico (Figura 9) entre os tratamentos de *Gracilaria domingensis* confirmando a hipótese inicial sugerida, onde no momento que observamos a mudança de coloração dos indivíduos em teste, percebemos que simultaneamente a concentração do ácido málico se eleva e os tratamentos apresentaram uma redução na eficiência fotossintética (Figura 4) e na concentração de clorofila a (Figura 10), isto ocorreu proporcionalmente ao volume de gás injetado em cada tratamento (Tabela 1), indicando uma possível alteração de rota metabólica de fixação do carbono, nos tratamento que simularam as atmosferas de 2100 e 2200 como demonstraram (Raven et al 2011, Giordano et al 2005). Raven (et al 2012), fazendo uma revisão do tema, mostram os diferentes mecanismos de assimilação de carbono dentro dos indivíduos fotossintetizantes, segundo ele e seus colaboradores a



assimilação do carbono pode ocorrer de diferentes formas. Os organismos conhecidos como algas podem apresentar metabolismo tipo C3 e C4. O curioso é que aparentemente tivemos um comportamento CAM nas algas que passaram por estresse em função do excesso de CO<sub>2</sub>.

## **5. CONCLUSÃO**

Segundo dados obtidos nos experimentos no Laboratório de Ficologia (LAFIC), percebemos que 15 mL/minuto de gás CO<sub>2</sub> (atmosfera simulando 2100) são aceitos pelas algas, sendo fundamental para o seu crescimento e nutrição; porém elevadas concentrações deste composto (30 mL/minuto – simulando atmosfera 2200), acidificam excessivamente o ambiente de teste e conseqüentemente as algas, alterando as características físico-químicas relevantes ao desenvolvimento eco-fisiológico das mesmas (Figuras 3 a 10). Os cenários acidificados de atmosferas futuras mostram que em 2100 os ambientes meso e hipernutritivos ainda terão um bom desenvolvimento e capacidade fisiológica de processar estes excessos nutricionais. Na atmosfera simulada de 2200 a acidez poderá chegar a níveis tão baixos que o sistema fotossintético dos indivíduos marinhos fotossintetizantes possivelmente terá o seu funcionamento afetado (Figuras 4, 5, 6 e 7). Somada a pressão ambiental que teremos no futuro a estes fatores, percebemos uma tendência de ampliação nas mudanças climáticas. Se os seres aqui estudados não se adaptarem a uma nova forma de assimilação do carbono (Figura 9) possivelmente enfrentarão problemas na sua evolução, ao encontrarem as condições propostas pelas simulações testadas (2100 e 2200).

## REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. R. ; HORTA, P. A. ; Celino, J.. Cultivo de Camarão Branco *Litopenaeus Vannamei* (Boone, 1931) com a macroalga *Ulva lacuata* Linneaus (Chlorophyta) no Tratamento de Efluentes em Sistema Fechado de Recirculação. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 10, p. 117-137, 2010.

ALENCAR, J. R. ; HORTA, P. A. ; Celino, J.. PRODUÇÃO FOTOSSINTÉTICA DA MACROALGA *ULVA LACTUCA LINNAEUS* (CHLOROPHYCEAE) CULTIVADA EM EFLUENTES DE UMA FAZENDA DE CAMARÕES MARINHOS. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology* (Impresso), v. 14, p. 55-62, 2010.

ALENCAR, Jefferson Rosano de. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Programa de Pós-Graduação em 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. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Aquicultura, Florianópolis, 2005.

ALVEAL V., Krisler. *Algas marinas*. [s.l.]: [s.n.], [199-]. 153p.

ALVEAL V., Krisler; FERRARIO M.E; OLIVEIRA, E.C. *Manual de metodos ficologicos*. Concepcion: Universidad de Concepcion, 1995. 863p

Anthony KRN, Kline DI, Diaz-Pulido G, Dove S, Hoegh-Guldberg O (2008) Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 17442–17446.

Arnold T, Mealey C, Leahey H et al. (in press) Ocean acidification and the loss of protective phenolics in seagrasses. *PLoS ONE*, doi: 10.1371/journal.pone.0035107.

Barry JP, Hall-Spencer JM, Tyrrell T (2010) In situ perturbation experiments: natural venting sites, spatial/temporal gradients in ocean pH, manipulative in situ p(CO<sub>2</sub>) perturbations. In: *Guide to Best Practices for Ocean Acidification Research and Data Reporting* (eds Riebesell U, Fabry VJ, Hansson L, Gattuso J-P), pp. 123–136. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Beer S, Vilenkin B, Weil A, Veste M, Susel L, Eshel A (1998) Measuring photosynthetic rates in seagrasses by pulse amplitude modulated (PAM) fluorometry. *Marine Ecology Progress Series*, 174, 293–300.

Blackford J, Jones N, Proctor R, Holt R, Widdicombe S, Lowe D, Rees A (2009) An initial assessment of the potential environmental impact of CO<sub>2</sub> escape from marine carbon capture and storage systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B- Journal of Engineering Manufacture*, 223, 269–280.

BLANKENSTEYN, A. O uso do caranguejo Maria-farinha *Ocypode quadrata* (Fabricius) (Crustacea, Ocypodidae) como indicador de impactos antropogênicos em praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 2006.

BOUZON, Z. L. ; HORTA, Paulo A. ; FONSECA, A. L. D. ; PAGLIOSA, P. . Impacto Ambiental do Crescimento Urbano em Áreas Costeiras: Subsídios ao Manejo Integrado de Recursos Hídricos em Santa Catarina - Brasil. 2006. (Relatório de pesquisa).

BOUZON, J. L. ; MONTE-DOMEQ, F. ; BOUZON, Z. L. ; HORTA, Paulo A. . Variação espacial da estrutura das comunidades de macroalgas marinhas na baía norte da Ilha de Santa catarina Subsídios aos estudos dos impactos da urbanização. In: VI SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, 2005, São José dos Campos. PATRIMÔNIO AMEAÇADO in press, 2004.

Borowitzka MA (1982) Mechanisms in algal calcification. Progress in Phycological Research, 1, 137–177.

Borowitzka MA (1989) Carbonate calcification in algae- initiation and control. In: Biomineralisation (eds Mann S, Webb J, Williams R), pp. 137–177, vol. 1, Springer-Verlag, New York.

Brewer PG, Peltzer ET (2009) Limits to marine life. Science, 324, 347–348.

BUDENBENDER, J.; RIEBESELL, U.; FORM, A. *Calcification of the Arctic coralline red algae Lithothamnion glaciale in response to elevated CO<sub>2</sub>* Marine Ecology Progress Series, 441 . pp. 79-87. DOI [10.3354/meps09405](https://doi.org/10.3354/meps09405). 2011.

CABRAL, D.Q. Avaliação da efetividade de uma Unidade de Conservação Marinha a partir da análise da comunidade fitobêntica –

um estudo de caso no sudoeste do Atlântico. Dissertação (mestrado em botânica). Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.4

Cai W-J, Hu X, Huang W-J et al. (2011) Acidification of subsurface coastal waters enhanced by eutrophication. *Nature Geoscience*, 4, 766–770.

CAI, W.J.; CHEN, L.; CHEN, B.; GAO, Z.; LEE, S.H.; CHEN, J.; PIERROT, D.; SULLIVAN, K.; WANG, Y.; HUX.; HUANG, W.J.; ZHANG, Y.; XU, S.; MURATA, A.; GREBMEIER, J.M.; JONES. E.P., ZHANG, H. Decrease in the CO<sub>2</sub> Uptake Capacity in an Ice-Free Arctic Ocean Basin. Published Online July 22 2010 *Science* 30 July 2010: Vol. 329 no. 5991 pp. 556-559 DOI: 10.1126/science.1189338.

Cigliano M, Gambi MC, Rodolfo M, etalpa R, Patti FP, Hall-Spencer JM (2010) Effects of ocean acidification on invertebrate settlement at volcanic CO<sub>2</sub> vents. *Marine Biology*, 157, 2489–2502.

Connell SD, Russell BD (2009) The direct effects of increasing CO<sub>2</sub> and temperature on non-calcifying organisms: increasing the potential for phase shifts in kelp forests. *Proceedings of the Royal Society of London, B*, 277, 1409–1415.

Connell SD, Russell BD, Irving AD (2011) Can strong consumer and producer effects be reconciled to better forecast ‘catastrophic’ phase-shifts in marine ecosystems? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400, 296–301.

CORDEIRO, M. C. Rodofíceas Bentônicas Marinhas Do Estado de Santa Catarina. Secretaria de Agricultura, coordenadoria da pesquisa de recursos naturais. Instituto de botânica São Paulo, S.P. Brasil, 1978.

Crabbe, M.J.C. Effect of incorrect interpretation of population statistics in the description of coral. 2009.

Diaz-Pulido G, Gouezo M, Tilbrook B, Dove S, Anthony KRN (2011) High CO<sub>2</sub> enhances the competitive strengths of seaweeds over coral. *Ecology Letters*, 14, 156–162.

Dickson AG (2010) The carbon dioxide system in seawater: equilibrium chemistry and measurements. In: *Guide to Best Practises for Ocean Acidification Research and Data Reporting* (eds Riebesell U, Fabry VJ, Hansson L, Gattuso JP), pp. 17–52. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Doney SC, Fabry VJ, Feely RA, Kleypas JA (2009) Ocean acidification: the other CO<sub>2</sub> problem. *Annual Review of Marine Science*, 1, 169–92.

Dupont S, Ortega-Martinez O, Thorndyke M (2010) Impact of near-future ocean acidification on echinoderms. *Ecotoxicology*, 19, 449–462.

Edwards, P. 1970. *Illustrated guide to the seaweeds and seagrasses in the vicinity of Porto Aransas, Texas*. *Contrib Mar Sci*, 15: 1-228.

Einav R, Breckle S, Beer S (1995) Ecophysiological adaptation strategies of some intertidal marine macroalgae of the Israeli Mediterranean coast. *Marine Ecology Progress Series*, 125, 219–228.

Enriquez S, Rodríguez R (2006) Effect of water flow on the photosynthesis of three marine macrophytes from a fringing-reef lagoon. *Marine Ecology Progress Series*, 323, 119–132.

Fabricius KE, Langdon C, Uthicke S et al. (2011) Losers and winners in coral reefs acclimatized to elevated carbon dioxide concentrations. *Nature Climate Change*, 1, 165–169.

FAO – The State of Food Agriculture. Disponível em: < <http://www.fao.org> >. Acesso em: junho de 2012.

Feely RA, Sabine CL, Hernandez-Ayon JM, Ianson D, Hales B (2008) Evidence for upwelling of corrosive “acidified” water onto the continental shelf. *Science*, 320, 1490–1492.

FIGUEROA, F.L.; ISRAEL, A.; NEORI, A.; MARTINEZ, B.; MALTA, E.J.; PUT, A.; INKEN, S.; MARQUARDT, R.; ABDALA, R.; KORBEE, N. Effect of nutrient supply on photosynthesis and pigmentation to short-term stress (UV radiation) in *Gracilaria conferta*(Rhodophyta). *Marine Pollution Bulletin* Volume 60, Issue 10, October 2010, Pages 1768–1778.

Giordano. M, Beardall, J, and Raven. J. A, Department of Marine Sciences, Università Politecnica delle Marche, 60121 Ancona, Italy; email: [m.giordano@univpm.it](mailto:m.giordano@univpm.it) School of Biological Sciences, Monash University, Clayton, Australia 3800; email: [John.Beardall@sci.monash.edu.au](mailto:John.Beardall@sci.monash.edu.au), University of Dundee at the Scottish Crop Research Institute, Invergowrie, Dundee DD2 5DA, United Kingdom; email: [j.a.raven@dundee.ac.uk](mailto:j.a.raven@dundee.ac.uk)

Horta, P.A. ; Vieira-Pinto, T. ; MARTINS, C. D. L. ; Sissini, M. ; RAMLOV, F. ; Lhullier, C. ; Scherner, F. ; SANCHES, P. F. ; FARIAS, J. N. ; Bastos, E. ; BOUZON, J. L. ; Valduga, E. ; Arantes, N.P. ; Batista, M.B. ; RIUL, P. ; ALMEIDA, R. S. ; PAES, E. ; Rorig, L. ; BARUFI, J. B. ; Colepicolo, P. ; YOKOYA, N. ; FUJII, M. ; GUIMARAES, S. ; Copertino, M. ; Oliveira, E.C. . Avaliação dos impactos das mudanças climáticas e estressores locais sobre o potencial biotecnológico das macroalgas marinhas uma discussão de cenários teóricos prováveis. Revista Brasileira de Farmacognosia (Impresso) **JCB**, v. 22, p. 768-774, 2012.

HUNGATE, B.A.; DUKES, J.S.; SHAW, M.R.; FIELD, C.B. Nitrogen and Climate Change. Science 28 November 2003: Vol. 302 no. 5650 pp. 1512-1513 DOI: 10.1126/science.

IPPC – Intergovernmental Panel of Climate Change. Disponível em: < <http://www.ipcc.ch/> >. Acesso em: março 2012.

JA Lourenço, M Cesar, JMP Wiegand, MA Igarashi. Aspectos do cultivo de algas marinhas com vistas a sustentabilidade da atividade. Universidade Federal do Ceará. Tese número 200.189.113.123.

John A. Raven; Mario Giordano; John Beardall; Stephen C. Maberly. Algal and aquatic plant carbon concentrating mechanisms in relation to environmental change. Photosynth Res (2011) 109:281–296

LITTLER, M. M., & LITTLER, D. S. Handbook of Phycological Methods-Ecological Field Methods: Macroalgae. Cambridge, Cambridge University. Press,1985 617p.



MARTINS, R. V.; Bioponia e cultivos orgânicos. 2000.

OLIVEIRA FILHO, E. C; Is there a relation among the global warming, the missing carbon and the calcareous algae. In: Global Changes - IEA USP, 1997, São Paulo. Anais Academia Brasileira de Ciências. São Paulo, 1997. v. 68. p. 17-21.

OLIVEIRA FILHO, E. C; MIRANDA, G. E. C. Aspectos sociais e econômicos da exploração de algas marinhas no Brasil. In: Congresso Brasileiro, Latinoamericano e Ibérico de Ficologia, 1998, Caxambu. Anais do IV Congresso Latino-Americano, II Reunião Ibero-Americana e VII Reunião Brasileira de Ficologia. S. Paulo: Exata Editoração, 1996. v. 2. p. 149-156.

PALMINHA, C. Observações sur *Peyssonnelia capensis* Mont. dans la côte de l'Angola. Anais do Simpósio Internacional de Algas 6: 297-301, 1969.

PARSONS, R. T., MAITA, Y., LALLI, M.C., A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Printed in Great Britain By BPC Wheatons Ltd. Exeter.

PIVELI, R. P. ; BASTOS, R. K. X. ; PEREIRA, C. M. ; LANNA, E. A. T. ; LAPOLLI, F. R.. Utilização de Esgotos Sanitários em Piscicultura. In: Rafael Kopschitz Xavier Bastos. (Org.). Utilização de Esgotos Tratados em Fertirrigação, Hidroponia e Piscicultura. 01 ed. São Carlos/SP: RiMa Artes e Textos, 2003, v. 01, p. 193-223.

POLI, Carlos Rogerio. Aqüicultura: experiências brasileiras. Florianópolis, SC: UFSC, CCA, Multitarefa, 2004. viii, 456p.

PORZIO, L.; BULA, M.C.; HALL-SPENCER, J.M. Effects of ocean acidification on macroalgal communities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* Volume 400, Issues 1–2, 30 April 2011, Pages 278–287

PP SYSTEMS. EGM-4 Enviromental Gas Monitor for CO<sub>2</sub>. 110 Haverhill Road, Suite 301, Amesbury, MA, USA, 2010.

RALPH, J.P; GADEMANN, R. Rapid light curves: A powerful tool to assess photosynthetic activity. *Aquatic Botany* 82 (2005) 222-237.

RAMLOV, F.; PLASTINO, E.M.; YOKOYA, N.S. Efeitos do ágar no crescimento de explantes e na formação de calos em morfos pigmentares de *Gracilaria domingensis* (Kützing) Sonder ex Dickie (Gracilariales, Rhodophyta). *Revista Brasil. Bot.*, V.32, n.3, p.607-615, jul.-set. 2009

Raven J.A., Giordano M., Beardall J., Maberly S. C., Algal and aquatic plant carbon concentrating mechanisms in relation to environmental change. Received: 15 September 2010 / Accepted: 1 February 2011 Springer Science Business Media B.V. 2011

RITCHIE, R. J. 2008. Fitting light saturation curves measured using modulated fluorometry. *Photosynthesis research*. 96, 3, 201-215.

RIVIERS, B. *Biologia e filogenia das algas*. Tradução Iara Maria Franceschini. – Porto Alegre. Editora Artmed, 2006 280p.: il. ; 25 cm.

Caribbean Reef Plants. Diane Scullion Litter & Mark Masterton Litter, 2000.

RODRIGUEZ, M.D.I.; HALLORAN, P.R.; RICKABY, R.E.M.; HALL, I.R.; HIDALGO, E.C.; GITTINS, J.R.; GREEN, D.R.H.; TYRRELL, T.; GIBBS, S.J.; DASSOW, P.V.; REHM, E.; ARMBRUST, E.V.; BOESSENKOOL, K.P., Phytoplankton Calcification in a High CO<sub>2</sub> World. Science, 2008. Vol. 320 no. 5874 pp.336-340.

SALLES, José Pedrassoli. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Programa de Pós-Graduação em Aquicultura.. Potencial de cultivo de *Gracilaria cornea* (Rhodophyta) em módulos submersos afastados da costa. Florianópolis, SC, 2010. viii, 25 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura.

SANTOS, M.V., REIS T.N.V., PITANGA, M.E., OLIVEIRA, M.D., MACEDO, C.H.R., MAGALHÃES, K.M., ARAÚJO, M.E. Macroalgas presentes em potenciais áreas de forrageio do peixe-boi marinho (*Trichechus manatus*). XIV Congresso Brasileiro de Ficologia. 2011.

SILVA, P.C., BASSON, P.W. & MOE, R.L. Catálogo das algas marinhas bentônicas do Oceano Índico. Publicações da Universidade de Califórnia em Botânica 79: 1-1259, 1996.

SORIANO, E.M.; MORALES, C.; MOREIRA, W.S.C. Cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta) in shrimp pond effluents in Brazil. Aquaculture Research. Volume 33, Issue 13, pages 1081–1086, October 2002.

Thomas Wernberg, Dan A. Smale, Mads S. Thomsen. (2012) A decade of climate change experiments on marine organisms: procedures, patterns and problems. *Global Change Biology* 18:5, 1491-1498

Vannucci, M, Os manguezais e Nós, 2º Ed. Revista e ampliada, Editora da Universidade de São Paulo. Av prof. Luciano Gualberto, Travessa J 374 6º andar. Ed. Da Antiga Reitoria- Cidade Universitária.05508900-S.P.- Brasil.2003.

Yokoya, N. S. 2000. Apical callus formation and plant regeneration controlled by plant growth regulators on axenic culture of the red alga *Gracilariopsis tenuifrons* (Gracilariales, Rhodophyta). *Phycol Res*, 48: 133-142.

ZAR, H. J., *Biostatistical Analysis* 5º edition. Department of biological Sciences Northern Illinois University. Prentice hall is an imprint of Person. Upper Saddle River, New Jersey 07458. Típe.944

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.