



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

**MONITORAMENTO, MANEJO E RESTAURAÇÃO DE POPULAÇÕES DE
GRACILARIA CAUDATA J. AGARDH (RHODOPHYTA, GRACILARIALES)
SUBSÍDIOS AO USO SUSTENTÁVEL**

GEORGE EMMANUEL CAVALCANTI DE MIRANDA

TESE DE DOUTORADO

RECIFE

Agosto de 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA

GEORGE EMMANUEL CAVALCANTI DE MIRANDA

**MONITORAMENTO, MANEJO E RESTAURAÇÃO DE POPULAÇÕES DE
GRACILARIA CAUDATA J. AGARDH (RHODOPHYTA, GRACILARIALES)
SUBSÍDIOS AO USO SUSTENTÁVEL**

Tese que apresenta ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia (PPGO) da Universidade Federal de Pernambuco, como um dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Ciências na Área de Oceanografia Biológica

Orientadora: Professora Dra. Mutue Toyota Fujii

RECIFE
Agosto de 2010

FOLHA DE APROVAÇÃO
COMISSÃO JULGADORA

Profa. Dra. Mutue Toyota Fujii (Orientadora)

Profa. Dra. Sônia Maria Barreto Pereira

Prof. Dr. Paulo Antunes Horta

Dra. Adilma de Lourdes Montenegro Cocentino

Prof. Dra. Mariana Alves de Guimaraens

Suplentes:

— Prof. Dra. Amélia Iaecca Kanagawa

— Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa

FICHA CATALOGRÁFICA

M672m **Miranda, George Emmanuel Cavalcanti de.**
Monitoramento, manejo e restauração de populações de *Gracilaria Caudata* J. Agardh / Rhodophyta, Gracilariales) subsídios ao uso sustentável./ George Emmanuel Cavalcanti de Miranda. - Recife: O Autor, 2009.
xix,90 f., il : grafs., tabs., figs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2010.

Orientadora: Profª Dra. Mutue Toyota Fujii
Inclui bibliografia e anexo.

1. Oceanografia. 2. *Gracilaria caudata* 3. Exploração 4. Cultivo. 5. Substratos artificiais. I. Título.

UFPE

551.46 **CDD (22. ed.)** **BCTG/2010-225**

A Livia, Gabriel e Marina

**Conhecer é tarefa de sujeitos, não de objetos.
E é como sujeito e somente enquanto sujeito,
que o homem pode realmente conhecer.**

Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

Agradecer às pessoas e instituições que colaboraram e possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho é, acima de tudo, prazeroso e espero expressar com emoção a profunda gratidão que sinto em relação a todos.

Inicialmente agradecer a Dra Mutue T. Fujii, não apenas pela orientação, mas pela lição de profissionalismo, e pela possibilidade de aprender um pouco com a sua experiência. Além disso, a orientação transcendeu as relações orientando-orientador, construindo uma amizade que vai muito além das bancadas frias das instituições.

A Dra. Nair Sumiê Yokoya, pelo apoio essencial nas etapas de laboratório e pela amizade que se desenvolveu decorrente do trabalho. Sorte daquele que encontra pessoas como você no caminho, eu fui uma dessas.

Sempre tive sorte de, nas minhas caminhadas e nos meus processos, encontrar pessoas especiais que tornaram as coisas mais fáceis, os amigos e amigas: Adilma, Patrícia, Júlio, Thiago, a mãe de Tiago, Edson, Natália, Dani, Victória, Sérgio, Leandro, que tanto me apoiaram em momentos essenciais. Vocês não imaginam a parcela de contribuição que deram para a realização deste trabalho.

A Myrna, meu agradecimento particular, sua eficiência e alegria contagiam, é sempre bom entrar na secretaria e te encontrar, é garantia de problemas resolvidos.

A Profa. Amélia Kanagawa, em particular, e aos demais professores do DSE/UFPB que contribuíram para que eu tivesse tranquilidade para desenvolver este trabalho.

A Capes pela bolsa concedida e ao CNPq pelo apoio financeiro através do edital 10/2005, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Departamento de Sistemática e Ecologia (UFPB) por ter me liberado e dado todo o apoio para a realização deste programa de capacitação.

Ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, pelas facilidades obtidas para o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vii
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xv
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xviii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	8
2.1. Geral	8
2.2. Específicos	8
3. ÁREA DE ESTUDO	9
4. METODOLOGIA	11
4.1. Efeitos da temperatura, salinidade e irradiância sobre a germinação de carpósporos e desenvolvimento inicial de <i>Gracilaria caudata</i>	11
4.1.1. Densidade de Fluxo Fotônico	11
4.1.2. Salinidade	12
4.1.3. Temperatura	12
4.2. Monitoramento de longo prazo da biomassa da população de <i>G. caudata</i> na praia de Ponta de Mato, Cabedelo, PB	13
4.3. Aspectos fenológicos de <i>G. caudata</i> em diferentes populações naturais nos estados da Paraíba e Pernambuco	16
4.4. Desenvolvimento de técnicas de recuperação de populações de <i>Gracilaria caudata</i> degradadas pela exploração comercial	18
4.4.1. Confecção dos substratos	18
4.4.2. Coleta e aclimação das algas	19
4.4.3. Colonização dos substratos e preparação dos transplantes	20
4.4.4. Tratamentos realizados	20
4.4.5. Transplantes	22
4.4.6. Análise qualitativa e quantitativa da população de <i>Gracilaria caudata</i> e da colonização e sucessão da comunidade de macroalgas sobre os substratos artificiais	23

5. RESULTADOS	24
5.1. Efeitos da temperatura, salinidade e irradiância sobre a germinação de carpósporos e desenvolvimento inicial de <i>Gracilaria caudata</i>	24
5.1.1. Efeito da irradiância sobre a germinação e desenvolvimento das plântulas	24
5.1.2. Efeito da salinidade no desenvolvimento dos carpósporos	27
5.1.3. O efeito da temperatura sobre a germinação e desenvolvimento das plântulas	28
5.2. Monitoramento de longo prazo da biomassa da população de <i>G. caudata</i> na praia de Ponta de Mato, Cabedelo, PB.	30
5.3. Aspectos fenológicos de <i>G. caudata</i> em diferentes populações naturais na costa dos estados da Paraíba e de Pernambuco	32
5.4. Desenvolvimento de técnicas de recuperação de populações de <i>Gracilaria caudata</i> degradadas pela exploração comercial	38
6. DISCUSSÃO	50
6.1. Efeitos da temperatura, salinidade e irradiância sobre a germinação de carpósporos e desenvolvimento inicial de <i>Gracilaria caudata</i>	50
6.2. Monitoramento de longo prazo da biomassa da população de <i>G. caudata</i> na praia de Ponta de Mato, Cabedelo, PB.	53
6.3. Aspectos fenológicos de <i>G. caudata</i> em diferentes populações naturais na costa dos estados da Paraíba e de Pernambuco.	55
6.4. Desenvolvimento de técnicas de recuperação de populações de <i>Gracilaria caudata</i> degradadas pela exploração comercial	59
7. CONCLUSÕES	64
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
9. ANEXO 1 – Manuscrito do artigo no prelo para publicação	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa das áreas de estudo: Cabedelo, Bessa e Carapibus na PB e Ponta de Pedras e Itamaracá em Pernambuco	10
Figura 2	Mapa da distribuição dos pontos de coleta na população de <i>Gracilaria caudata</i> na Praia de Cabedelo (PB) no período de estudos (1996/2009)	15
Figura 3	Aspecto geral dos substratos artificiais. A numeração em epóxi identifica os tratamentos	19
Figura 4	Preparação dos substratos artificiais e acondicionamento dos nódulos para os transplantes: a. Fixação de carpósporos. b. Fixação de plantas cistocárpicas. c e d. Fixação de plantas tetraspóricas. e e f Preparação dos nódulos para o transplante	21
Figura 5	Distribuição aleatória dos nódulos sob diferentes tratamentos. Tratamentos I  , II  , III  e C1 (Controle interno)	22
Figura 6	<i>Gracilaria caudata</i> - Germinação e crescimento de carpósporos submetidos a diferentes tratamentos (temperatura, salinidade e irradiância)	25
Figura 7	Taxa de crescimento de plântulas originadas de carpósporos de <i>Gracilaria caudata</i> no experimento com diferentes irradiâncias (n=4; média de 20 medidas). Barras representam o desvio padrão. Diferentes letras entre os tratamentos indicam diferenças significativas (Student-Newman Keulss $p= 0,05$)	27
Figura 8	Taxa de crescimento de plântulas originadas de carpósporos de <i>Gracilaria caudata</i> no experimento com diferentes salinidades (n=3; média de 20 medidas). Barras representam o desvio padrão. Diferentes letras entre os tratamentos indicam diferenças significativas (Kruskal-Wallis)	28

Figura 9	Taxa de crescimento de plântulas originadas de carpósporos de <i>Gracilaria caudata</i> no experimento com diferentes temperaturas (n=3; média de 20 medidas). Barras representam o desvio padrão. Diferentes letras entre os tratamentos indicam diferenças significativas (Kruskal-Wallis)	29
Figura 10	Gráfico da biomassa (peso seco/m ²) de <i>Gracilaria caudata</i> na praia de Ponta de Mato (PB), durante o período de abril/1996 e janeiro/2009. As barras indicam o desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas. Escala γ logarítmica	32
Figura 11	Distribuição percentual média das fases do ciclo de vida das populações de <i>Gracilaria caudata</i> estudadas no período compreendido entre Jan/08 e abr/09. As barras indicam o desvio padrão	33
Figura 12	Distribuição percentual das fases do ciclo de vida da população de <i>Gracilaria caudata</i> em Cabedelo (PB) durante o período dos experimentos (jan/08 – abr/09). <i>n</i> mensal = 30	34
Figura 13	Distribuição percentual das fases do ciclo de vida da população de <i>Gracilaria caudata</i> em Carapibus (PB) durante o período dos experimentos (jan/08 – abr/09). As algas masculinas se encontram incluídas nas quimeras. <i>n</i> mensal = 30	35
Figura 14	Distribuição percentual das fases do ciclo de vida da população de <i>Gracilaria caudata</i> em Ponta de Pedras (PE) durante o período dos experimentos (jan/08 – abr/09). <i>n</i> mensal = 30	35
Figura 15	Distribuição percentual das fases do ciclo de vida da população de <i>Gracilaria caudata</i> em Itamaracá (PE) durante o período dos experimentos (jan/08 – abr/09), <i>n</i> mensal = 30	36

Figura 16	Cluster da análise de similaridade entre as fases do ciclo de vida de <i>Gracilaria caudata</i> nas populações estudadas. Índice de similaridade de Bray-Curtis. Dados para a população de Cabedelo (PB) 1996/1997 extraídos de Miranda (2000)	37
Figura 17	Gráfico da distribuição percentual média das fases do ciclo de vida de <i>Gracilaria caudata</i> para a praia de Cabedelo (PB). Os dados de 1996/1997 foram incorporados de Miranda (2000)	37
Figura 18	Gráfico do peso seco médio (g) por nódulo/tratamento (controle, tratamento I, II, III). As barras indicam o desvio padrão. As letras iguais indicam que os tratamentos são estatisticamente semelhantes. $n = 9$. por tratamento	41
Figura 19	Gráfico da freqüência (%) de <i>Gracilaria caudata</i> nos substratos artificiais por tratamento, $n=9$ por tratamento	42
Figura 20	Gráfico da riqueza em espécies encontradas nos substratos artificiais (todos os tratamentos) durante o período de estudos (jun/08 a mai/09), considerando $n=45$. Letras iguais indicam semelhança estatística	43
Figura 21	Gráfico da riqueza encontrada nos substratos artificiais durante o período de estudos, no tratamento (jun/08 a mai/09). Controle interno $n=9$. Letras iguais indicam semelhança estatística.	43
Figura 22	Gráfico da riqueza encontrada nos substratos artificiais durante o período de estudos (jun/08 a mai/09), no tratamento I; $n=9$. Letras iguais indicam semelhança estatística	44
Figura 23	Gráfico da riqueza encontrada nos substratos artificiais durante o período de estudos (jun/08 a mai/09), no tratamento II; $n=9$. Letras iguais indicam semelhança estatística	44

- Figura 24 Gráfico da riqueza encontrada nos substratos artificiais durante o período de estudos (jun/08 a mai/09), no tratamento III; n=9. Letras iguais indicam semelhança estatística 45
- Figura 25 Gráfico da riqueza de espécies encontradas nos nódulos artificiais durante o período de estudo (jun/08 a mai/09), no tratamento Controle externo; n=9. Letras iguais indicam semelhança estatística 45
- Figura 26 Gráfico da comparação entre a Riqueza de espécies por nódulo, por tratamento) e o número total de espécies por mês. Durante as 12 etapas de monitoramento (jun/08 a mai/09) 46
- Figura 27 Fotografia dos substratos artificiais ao final dos experimentos (mai/09). **a** e **b** (tratamento I); **c** e **d** (controle); **e** e **f** (substratos após raspagem no final do experimento); **g** e **h** (tratamentos II e III respectivamente) 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Peso seco g/m^2 de <i>Gracilaria caudata</i> nas etapas amostradas (2006/2009) no município de Cabedelo. Incluindo dados não publicados dos anos de 1996, 1997 e 2005, e incorporado os dados de jan/01 e jan/03 coletados por Farias et al.(2004), n=26. As coordenadas indicam a localização de cada um dos pontos de coleta	31
Tabela 2	Frequência de ocorrência das espécies nos substratos artificiais, durante o período de junho/2008 e abril/2009	47
Tabela 3	Lista das espécies distribuídas nos grupos em função do processo de colonização	48

RESUMO

No Nordeste do Brasil, as populações naturais de *Gracilaria caudata* J. Agardh vêm sendo exploradas, desde a década de 70, para a produção de ficocolóides. Esta atividade tem sido relatada como a principal responsável pelo declínio destas populações. Este trabalho teve como objetivos desenvolver metodologias que possibilitem o monitoramento, o manejo e a restauração de populações de *G. caudata*, degradadas pela exploração comercial, em municípios dos estados da Paraíba e Pernambuco. A tese foi dividida em quatro linhas principais. A primeira, com experimentos desenvolvidos em laboratório, estabeleceu os efeitos da temperatura, salinidade e irradiância sobre a germinação de carpósporos de *G. caudata* e o desenvolvimento inicial de plântulas, definindo limites de tolerância e condições ótimas para crescimento. A segunda linha, com base em dados pretéritos e na estimativa da biomassa da população de *G. caudata* na praia de Ponta de Mato, Cabedelo (PB) (6°57'35"S 34°49'21"W), estabeleceu o monitoramento e avaliou o declínio desta população. A terceira linha de pesquisa, com base em coletas aleatórias em quatro populações naturais, submetidas a diferentes níveis de impacto da atividade de exploração e em dados pretéritos, analisou aspectos fenológicos relacionado a proporção entre as diversas fases do ciclo de vida desta espécie. A quarta linha de pesquisa abordou o desenvolvimento de técnicas de recuperação de populações de *G. caudata* degradadas pela exploração comercial. Nesta etapa, diferentes tratamentos testaram mecanismos de restauração da população a partir da fixação de carpósporos, tetrásporos e plantas adultas férteis em substratos artificiais, com o subsequente transplante para o ambiente recifal. Os mecanismos de colonização e sucessão sobre os substratos implantados nos ambientes também foram analisados. Os resultados obtidos estabeleceram valores ótimos de temperatura, salinidade e irradiância para o crescimento do disco germinativo e das plântulas, originadas a partir de carpósporos. A análise comparativa, entre as fases do ciclo de vida de *G. caudata*, descreveu, entre as diversas populações estudadas, diferenças que provavelmente estão

relacionadas em nível de impacto da atividade de exploração, sendo encontrado um elevado número de plantas não férteis naquelas áreas com maior histórico de coletas comerciais. A elevada presença de indivíduos não férteis nas populações impactadas poderia explicar a não recuperação da população após uma forte atividade de exploração. O monitoramento da biomassa de *G. caudata* demonstrou o declínio desta população após a realização de intensa atividade de coleta em 1997, e a sua não recuperação até a presente data, provavelmente está relacionada ao efeito da interferência na capacidade reprodutiva da população. Dentre os métodos de restauração avaliados, a fixação de carpósporos em substratos artificiais e o subsequente transplante para o ambiente natural foi o mais eficiente na reintrodução de *G. caudata* ao ambiente natural. O acompanhamento da colonização e sucessão dos substratos artificiais demonstrou ainda a ausência de propágulos de *G. caudata* no ambiente estudado, que anteriormente era dominado por esta espécie. A presente tese demonstrou o declínio de uma população de *G. caudata* após exploração comercial; avaliou a proporção entre as diversas fases do ciclo de vida desta espécie, estabelecendo uma relação entre o aumento da proporção de indivíduos não férteis e as áreas exploradas; analisou o efeito da temperatura, irradiância e salinidade na germinação de carpósporos e no desenvolvimento inicial de plântulas, como forma de suporte ao desenvolvimento de mecanismos de restauração de populações impactadas pela coleta comercial, além disso, estabeleceu métodos que permitem a recuperação ou restauração de uma dada população, ou mesmo comunidade, de organismos bênticos.

Palavras chave: *Gracilaria caudata*, exploração, cultivo, substratos artificiais.

ABSTRACT

In the northeast of Brazil, the natural populations of *Gracilaria caudata* are being exploited, since the 1970s for production of phycocolloids, this activity has been reported as primarily responsible for the decline of these populations. This work had as objectives, to develop methodologies that enable monitoring, management and restoration of populations of *G. caudata*, degraded by commercial exploitation, in districts of the States of Paraíba and Pernambuco. The thesis was divided into four main lines. The first, which was developed in laboratory, established the effects of temperature, salinity and irradiance on the germination of carpospores of *G. caudata* and initial development of plantlets, defining tolerances and optimal conditions for growth. The second row, based on past data and estimation of biomass of *G. caudata* in Ponta de Mato beach, Cabedelo (PB) (6°57'35"S 34°49'21"W), established the monitoring and assessed the decline of this population. The third line of research, based on random collections in four natural populations, subjected to different levels of impact of exploitation, analyzed phenological aspects related to the ratio between the various phases of the life cycle of this species. The fourth line of research has addressed the furthering of recovery of populations of *G. caudata* degraded by commercial exploitation. In this step, different treatments tested mechanisms for restoration of the population from the fixing of carpospores, tetraspore and carposporic, tetrasporic plants in artificial substrates, with subsequent transplantation for the marine environment. Colonization and succession on substrates deployed were also analysed. The results obtained have optimal values of temperature, salinity and irradiance for growth of basal disk and initial branch, originated from carpospores. The comparative analysis between the phases of the lifecycle of *G. caudata*, described, between different populations studied, differences that are probably related to the level of impact of exploitation activity, being found a large number of plants not fertile in those areas with larger commercial collections in the past. High presence of not fertile individuals impacted populations could explain the non-recovery after a strong activity of exploitation. Biomass monitoring of *G. caudata* demonstrated this

population decline after intense exploitation in 1997, and its non-recovery, is probably related to the effect of interference in the reproductive capacity of the population. Among the methods of restoring evaluated, fixing carpospores on artificial substrates and transplantation for the natural environment was the most efficient form of reintroducing *G. caudata* to the natural environment. Monitoring of colonization and succession of artificial substrates showed the absence of spores of *G. caudata* in environment study, which was previously dominated by this species. This thesis demonstrated the decline of a population of *G. caudata* after commercial exploitation; evaluated the proportion between the various phases of the life cycle of this species, establishing a relationship between the increase in the proportion of individuals not fertile and exploited areas; analyzed the effect of temperature, salinity and irradiance on carpospores and initial branches development as a way of supporting the development of mechanisms for restoring populations impacted by commercial collection, additionally established methods that enable the recovery or restoration of a population, or even community, of benthic organisms.

Key words: *Gracilaria caudata*, cultivation, exploitation, artificial substrata.

1. INTRODUÇÃO

No Nordeste do Brasil a exploração de algas marinhas se iniciou ainda na década de 60, através da utilização de algas para a produção de ficocolóides extraídos a partir de espécies de *Gracilaria*, *Gracilariopsis* e *Hypnea*. Além deste uso predominante, observado até hoje, outras empresas com pouca expressão econômica atuam explorando algas diversas para a produção de alimentos, produtos farmacêuticos e aquarofilia, entre outros (Miranda, 2000; Oliveira et al., 1998; Oliveira, 1998).

Esta atividade ocorre principalmente nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Ceará e a predominância da coleta se dá sobre espécies do gênero *Gracilaria* (Miranda, 2000; Oliveira, 1997; Oliveira, 1998; Oliveira et al., 1998). A ocorrência de bancos de macroalgas de importância comercial, principalmente dos gêneros *Gracilaria* e *Hypnea*, no litoral nordeste do Brasil já é bem documentada (Pinheiro-Vieira & Ferreira, 1968; Carvalho, 1987; Oliveira, 1981a; Oliveira, 1981b; Pereira et al., 1981; Silva et al., 1987; Oliveira, 1997; Oliveira, 1998; Oliveira et al., 1998; Miranda, 2000; Plastino & Oliveira, 1997) e relatos da queda da produção de ficocolóides devido a sobreexploração de alguns destes bancos naturais tem sido sustentados por pesquisadores como Oliveira (1998); Oliveira et al. (1998), Oliveira et al. (2000) e Miranda (2000), entretanto poucos trabalhos de cunho quantitativo, avaliam a longo prazo a situação destas populações. Este fato, aliado à ausência de monitoramento das populações exploradas, cria uma lacuna no conhecimento do real impacto causado a estas populações pela atividade. Não considerando ainda o impacto que a sobreexploração de determinadas espécies de algas causam na comunidade recifal associada (Jackson et al., 2001).

As atividades de exploração no Brasil, teoricamente deveriam seguir o que determina a Instrução Normativa Nº 89/2006 do IBAMA, que, entre outros aspectos, estabelece a necessidade da realização de estudos de viabilidade, bem como da definição de áreas de exclusão de coleta a serem aplicados em

cada banco de algas submetidos a exploração comercial. De uma maneira geral os bancos de algas marinhas explorados no Brasil não possuem planos de manejo, além disso, a Instrução Normativa do IBAMA, não disciplina o monitoramento nem a recuperação de áreas degradadas pela exploração.

Atualmente o Brasil conta com quatro empresas de porte médio que processam algas para a produção de agar agar e carragenana, a Agar Brasileiro Ind. e Com. LTDA, sediada no estado da Paraíba que produz agar agar extraído a partir de duas ou três espécies nativas de *Gracilaria* e uma de *Gracilariopsis*, e a carragenana extraída de *Hypnea* e *Kappaphycus*, este último gênero importado. Outra empresa a “Griffith do Brasil”, sediada no estado de São Paulo produz carragenana a partir de *Kappaphycus* importada da Ásia, ou produzida no litoral Fluminense em cultivos recentemente implantados. A terceira é a Sete Ondas Biomar Cia Ltda, sediada no litoral do Rio de Janeiro e produz carragenana a partir de *Kappaphycus* cultivado no município de Angra dos Reis (RJ). A quarta empresa é a “Santos Flora Cia Ltda”, sediada no estado de São Paulo que produz Agar a partir de algas coletadas principalmente nos estados do RN e CE.

As estratégias de coleta de algas nos estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, não variam muito e já foram tratadas por Oliveira (1981a), Oliveira e Miranda (1998), Miranda (2000). Consistem na coleta sobre as algas arribadas ou através do arranque manual diretamente sobre os bancos onde elas crescem. Considerando a classificação proposta por Foster & Barilotti (1990), a exploração realizada sobre os bancos de algas no nordeste são dos tipos I e II, ou seja, ocorre a remoção de toda a planta ou de partes (protegendo o apressório), sendo que, a recuperação da população ocorre através da recolonização por esporos, da regeneração da parte basal e do crescimento de plantas juvenis remanescentes.

No Brasil, não existe um banco de dados com informações das populações submetidas a exploração comercial. Informações obtidas nas praias com pescadores ou coletores de algas relatam o desaparecimento de pelo menos quatro bancos de *Gracilaria* localizados no município de Cabedelo (PB), Pitimbu (PB), João Pessoa (PB) e em Maracajaú (RN), além de

informações sobre a queda da produção em Icapuí (CE), Guamaré (RN), Diogo Lopes (RN), Rio do Fogo (RN) e Ponta de Pedras (PE).

Oliveira Filho (1981c), ao analisar a produção de algas no Brasil para fins comerciais, concluiu que a queda na produção do recurso, observada em meados da década de 70, poderia ser devida a uma sobreexploração dos bancos naturais. Miranda (2000) cita que uma empresa do setor é freqüentemente forçada a suspender temporariamente a compra de algas em diversas praias da região por falta de matéria prima. Farias et al.(2004) relataram o declínio de uma população de *Gracilaria* depois de submetida a exploração comercial. Apesar destas indicações de sobreexploração e da continuidade da atividade de exploração dos bancos de algas no nordeste do Brasil, pouco se sabe sobre o impacto desta atividade sobre a maioria das comunidades biológicas das áreas exploradas, bem como sobre a sustentabilidade no médio/longo prazo dos bancos submetidos a coletas periódicas.

A população de *Gracilaria caudata* J. Agardh, que ocorre na Praia de Ponta de Mato (PB) (6°57'35"S 34°49'21"W) foi explorada comercialmente entre as décadas de 70 e 90, encerrando-se em 1997 (comunicação pessoal Antônio Hiroshi gerente comercial da Agar Brasileiro Ind. Com Ltda). As coletas eram realizadas através de mergulhos em apnéia e arranque manual em bancos de algas rasos, com profundidade entre 0,5 e 1,0m na maré baixa (Oliveira et al, 1998; Miranda, 2000). Esse banco é o que possui o maior número de informações específicas produzidas, foi estudado por Miranda (2000) e hoje conta com sua viabilidade econômica comprometida, devido ao declínio de sua população (Farias et al., 2004).

A posição taxonômica desta espécie é atualmente fator de conflito entre diferentes pesquisadores e escolas de pensamento. Esta espécie foi reconhecida para a região através dos estudos de Plastino et al.(1997), no qual esta espécie se encontra caracterizada, através de estudos morfológicos, levando em consideração, representantes distribuídos em várias regiões do litoral brasileiro. Posteriormente Gurgel et al.(2006) avaliando aspectos sistemáticos em Gracilariaceae, a partir de estudos de biologia molecular, com

base em indivíduos com ocorrência no Atlântico Norte, transfere a espécie *G. caudata* para uma nova posição taxonômica *Hydropuntia caudata* (J. Agardh) Gurgel & Fredericq. Neste trabalho foi adotada a classificação proposta por Plastino & Oliveira (1997), futuros estudos deverão confirmar a posição taxonômica deste grupo.

Miranda (2000), que estudou mais detalhadamente o impacto da exploração de *Gracilaria caudata* sobre esta população, concluiu que a população estudada possui uma elevada capacidade de regeneração e recolonização, desde que seja mantido um estoque populacional mínimo que garanta a recuperação após o impacto. Apesar desta elevada capacidade de recomposição observada por este autor, a população estudada desapareceu após exploração realizada no início de 1997 (Farias et al., 2004). Este desaparecimento gerou, além do impacto ambiental, um impacto sócio-econômico na comunidade de Cabedelo (PB) uma vez que aproximadamente 10 famílias tinham, na atividade de exploração de macroalgas uma alternativa de renda. A tipificação do impacto da coleta manual realizada sobre o banco de Cabedelo (PB), conforme Foster & Barilotti (1990), citado anteriormente, pode não ser a mais adequada aos bancos de algas sobre recifes coralígenos, uma vez que, durante o arranque manual, é comum parte do substrato ser destacada juntamente com a alga. Neste caso a coleta manual teria um impacto semelhante a uma raspagem localizada. Os autores que documentaram o desaparecimento do banco (Farias et al., 2004) avaliaram que o estoque populacional deixado no banco não foi suficiente para que, a partir de esporos e/ou regeneração vegetativa dos talos, toda a população fosse recuperada.

A recuperação de ambientes com bancos de algas marinhas degradados não é matéria nova e alguns grupos iniciaram estudos nesta linha ainda no século passado (Merril & Gillingham, 1991; Largo & Ohno, 1993; Terawaki et al., 2001, 2003). O conceito de recuperação de áreas degradadas nos casos estudados acima se confunde com o manejo de populações submetidas a exploração ou mesmo com a ampliação de substratos para a criação de bancos de algas, com interesse comercial. Em parte esta interface entre, estudos

populacionais e de comunidades, se deve ao fato de que impactos sobre populações que se comportam como dominantes na comunidade, tem efeitos mais amplos, que afetam todo o equilíbrio do sistema no qual a população está inserida (Thomsen, 2010). Alveal (1995) reforça a necessidade de que o manejo esteja alicerçado sobre um conhecimento profundo da espécie, bem como da comunidade e do ecossistema envolvido. Thomsen et al.(2010) destacam ainda a tendência na restauração de sistemas, através do aumento da abundância de espécies através da formação e aumento da complexidade dos habitats.

Os impactos sofridos por sistemas biológicos, submetidos a exploração, levam o ambiente a passar por diversos estágios sucessionais (Ohno et al., 1990) , ou mesmo a mantê-lo em um tipo de mosaico de fases, a abertura áreas pela retirada de espécies dominantes ou a criação de espaços, podem estabelecer a manutenção, no sistema, de fases iniciais da sucessão (Eston & Bussab, 1990; Paula & Eston, 1989) levando ao aumento da diversidade (Connel & Slatyer, 1977; Murray & Littler, 1978; Choi et al., 2006). Os autores discutem também a importância dos processos sazonais no modelo da sucessão, sugerindo que em alguns casos, as mudanças na comunidade são mais influenciadas pelos aspectos sazonais de que pelos impactos (Emerson & Zedler, 1978; Murray & Littler,1978; Eston & Bussab, 1990). Sutherland (1974) cita a existência de múltiplos pontos de estabilidade na comunidade e um dos fatores que poderiam explicar os diversos pontos de equilíbrio estaria relacionado ao processo inicial de colonização, no mesmo raciocínio Petraitis & Dudgeon (2005) descrevem estágios alternativos em uma comunidade em função de sucessão divergente.

Os recentes avanços na ficologia têm permitido a ampliação dos cultivos de algas marinhas em todo o mundo. O domínio de técnicas que utilizam a liberação de esporos, seguidos da fixação em substratos artificiais e introdução no mar, criou novas possibilidades (Oliveira et al.2000; Glenn et al., 1998; Alveal et al.1997; Alveal et al., 1994; Critchley, 1993; Fei & Huang, 1991; Halling et al., 2005). No Japão, Terawaki et al.(2003) e Largo & Ohno, (1993) se utilizaram desta técnica em um programa de recuperação de bancos

naturais de algas marinhas. No Brasil, experimentos de ecofisiologia ou de biologia reprodutiva de macroalgas tem avaliado aspectos ligados ao desenvolvimento e ou crescimento de esporos (Oliveira & Paula, 1974; Yokoya, 1992; Yokoya, 2000; Yokoya & Oliveira, 1992, 1993; Macchiavello et al., 1998), mas sem ter como objetivo direto o cultivo comercial ou a conservação.

Conhecer a biologia reprodutiva de uma espécie submetida a exploração é essencial no planejamento e desenvolvimento de planos de manejo (Kain & Destombe, 1995). Alveal (1995) destaca a importância de se caracterizar bem as fases reprodutivas de uma população de algas submetida à exploração, como base para nortear o manejo. Um dos aspectos reprodutivos mais importantes a serem definidos para o manejo, no caso de populações de algas, é o grau de interferência que a atividade exerce sobre o ciclo de vida destas plantas.

As algas do gênero *Gracilaria* possuem o ciclo de vida do tipo trifásico com alternância isomórfica (Ogata et al., 1972; Bird et al., 1977; McLachlan & Edelstein, 1977; Kain & Destombe, 1995; Polifrone et al., 2006). Oliveira & Plastino (1994) descreveram a biologia reprodutiva de algumas espécies deste gênero que ocorrem no Brasil, entre elas uma denominada *Gracilaria* sp. que provavelmente corresponde a *G. caudata*, descrevendo para esta espécie um ciclo de vida do tipo "Polysiphonia".

Os bancos de algas no nordeste brasileiro vêm sofrendo exploração sistemática sem nenhum tipo de controle ou acompanhamento. Isto possui implicações ecológicas, não apenas nas populações de *G. caudata*, mas em toda a comunidade biológica de que esta espécie faz parte (Rothman et al., 2009) Além, é claro, dos aspectos sócio-econômicos que envolvem as populações humanas dependentes direta ou indiretamente dessa atividade.

O entendimento de como a atividade de exploração afeta a capacidade reprodutiva da população alvo é conhecimento preliminar para o estabelecimento de um manejo adequado que possibilite a sustentabilidade da atividade (Alveal, 1995).

O desenvolvimento de métodos e técnicas que possibilitem a recuperação de bancos naturais de algas com importância econômica pode

garantir a sustentabilidade de uma atividade potencialmente geradora de emprego e renda para as comunidades costeiras no litoral do Nordeste do Brasil, lembrando que atualmente várias famílias nos estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, desenvolvem atividades de coleta de algas diretamente sobre os bancos naturais, e outras em virtude do desaparecimento ou da redução da produção, sua geração de renda ameaçada.

O conhecimento da fisiologia reprodutiva de espécies com importância econômica é um fator essencial para o desenvolvimento do cultivo comercial de algas marinhas, além disso, através da produção de plântulas a partir de esporos, abre-se toda uma possibilidade para a seleção e “domesticação” de linhagens de espécies nativas com taxas de crescimento mais elevadas.

A recuperação de ambientes degradados pela sobreexploração de *Gracilaria caudata* poderá representar um impacto positivo sobre toda a comunidade biológica dos ambientes recifais da área de influência, já que representa um retorno às condições pré-existentes.

No tocante à conservação dos ecossistemas recifais que se encontram submetidos a exploração comercial, este projeto atinge perspectivas ainda mais relevantes, pois as populações de *Gracilaria* são normalmente dominantes, estruturando as comunidades biológicas (Miranda, 2000) e, representam grande parte da dieta alimentar de diversos animais incluindo espécies ameaçadas de extinção, como o peixe-boi marinho (Araújo et al., 2008) e a tartaruga marinha (Farias et al., 2004).

O desenvolvimento de mecanismos de recuperação de áreas degradadas pela sobreexploração pode representar um avanço significativo em direção ao uso sustentável dos bancos naturais de macroalgas marinhas, podendo servir de modelo para outros bancos na região nordeste do Brasil.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Desenvolver uma metodologia que forneça subsídios a recuperação de populações de *Gracilaria caudata* degradadas pela exploração comercial nos municípios de João Pessoa e Cabedelo, litoral do estado da Paraíba.

2.2. Específicos

2.2.1. Avaliar os efeitos da temperatura, salinidade e irradiância sobre a germinação de carpósporos de *G. caudata* e desenvolvimento inicial de plântulas, definindo limites de tolerância e condições ótimas para crescimento de plântulas originadas de carpósporos.

2.2.2. Avaliar o efeito de uma coleta de caráter comercial sobre a população de *G. caudata* na praia de Ponta de Mato, Cabedelo, PB (6°57'35"S 34°49'21"W) e monitorar a população a longo prazo, com base em dados primários e dados pretéritos.

2.2.3. Caracterizar diferentes populações de *G. caudata* nos estados da PB e PE quanto à frequência das fases do ciclo de vida.

2.2.4. Avaliar a disponibilidade de propágulos de *G. caudata* em uma região submetida a exploração.

2.2.5. Testar a eficiência de transplante de plântulas desenvolvidas a partir de esporos em substratos artificiais e de transplante de plantas adultas férteis fixadas em substratos artificiais para a recuperação da população de *G. caudata*.

3. ÁREA DE ESTUDO

Como o objetivo geral do projeto foi o desenvolvimento de métodos para a recuperação da população de algas da espécie *Gracilaria caudata*, os experimentos de campo foram desenvolvidos nos bancos de algas costeiras dos municípios de Cabedelo (PB), João Pessoa (PB), Conde (PB), Goiana (PE) e Itamaracá (PE), nos quais esta espécie ocorre. A região do município de Cabedelo (PB) corresponde à população de *G. caudata* estudada por Miranda (2000) e que praticamente desapareceu após exploração comercial em 1997 (Farias et al., 2004) (Figura 1).

O clima da região é do tipo As' de acordo com a classificação climática de Köpen (in Atlas Geográfico da Paraíba, 1985), denominado tropical quente e úmido. O período chuvoso está situado entre os meses de março a agosto (outono/inverno) e a estação seca de setembro a fevereiro (primavera/verão).

Castro et al.(1998) descrevem um padrão sazonal para a temperatura da água do mar na costa nordestina, apresentando temperaturas mais elevadas durante o verão e mais baixas durante o inverno. A salinidade e a transparência da água possuem um padrão ligado ao período chuvoso, com valores levemente mais baixos para os meses de precipitação elevada e valores mais altos durante os meses de estiagem. Esta tendência já tinha sido observada por Macedo et al. (2004), Sassi et al.(1983), Silva et al.(1987). Castro et al.(1998) salientam que as variações de salinidade nesta região estão restritas a regiões próximas à desembocadura dos estuários, devido à contribuição da chuva no período do inverno.

Em relação aos nutrientes inorgânicos, de acordo com os trabalhos de Macedo et al. (2004), Sassi et al.(1985), Sassi & Oliveira (1983) e Carvalho (1983) que foram desenvolvidos nos recifes costeiros dos municípios de Goiana (PE) e João Pessoa (PB), a região estudada é oligotrófica, embora apresente fases mesotróficas, associadas principalmente a contribuição das chuvas e à decomposição das algas de arribadas. As reduções nas concentrações de nutrientes são atribuídas à atividade do fitoplâncton e das algas bênticas.

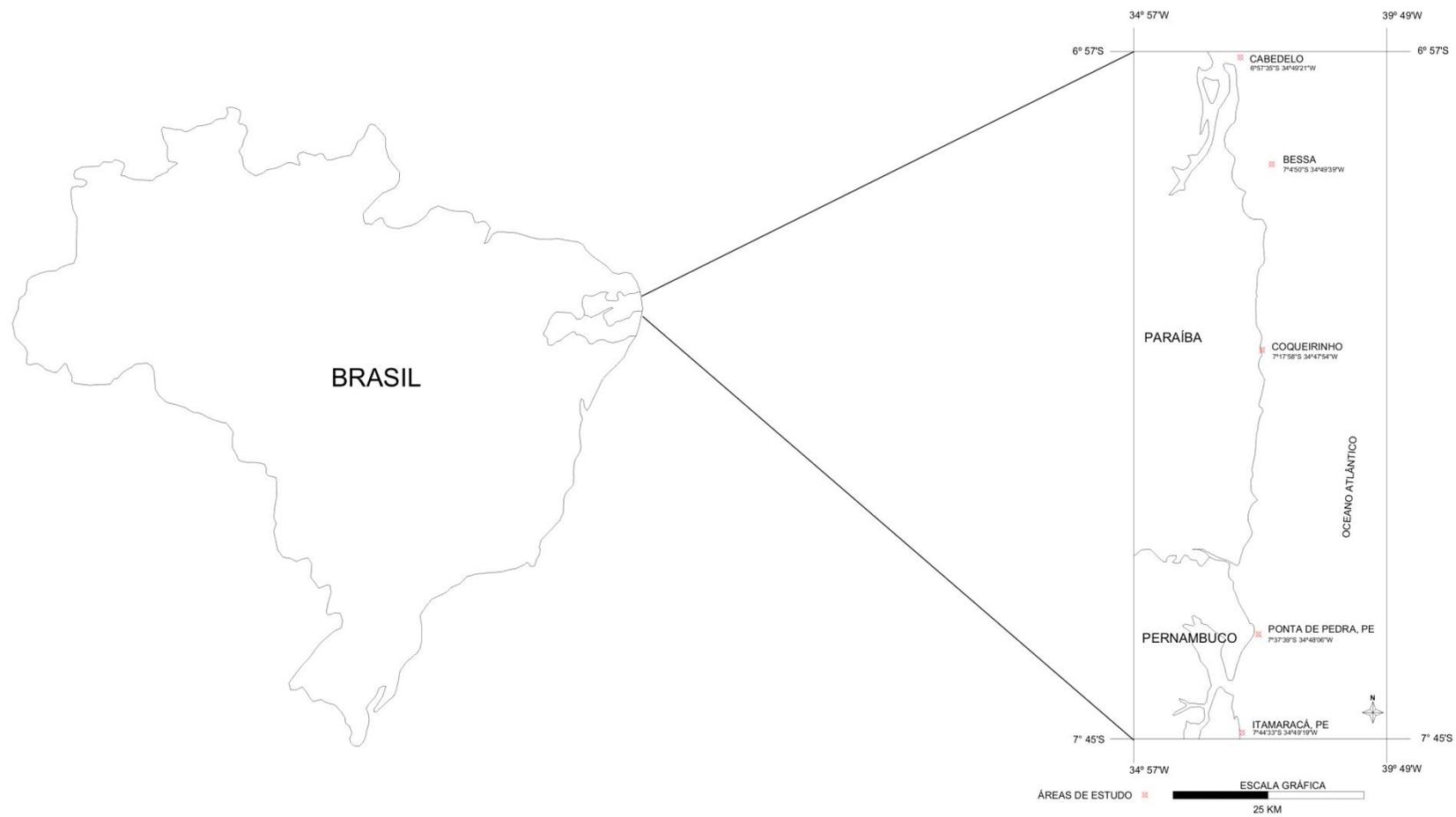


Figura 1. Mapa das áreas de estudo: Cabedelo, Bessa e Carapibus na PB e Ponta de Pedras e Itamaracá em Pernambuco.

4. METODOLOGIA

4.1. Efeitos da temperatura, salinidade e irradiância sobre a germinação de carpósporos e desenvolvimento inicial de *Gracilaria caudata*

Gametófitos femininos férteis de *G. caudata* foram coletados na praia de Itamaracá - PE (7° 44' 31''S e 34° 49' 22''W) em 15/10/07 e transportados para o Laboratório de Algas marinhas da UFPB e posteriormente transferido para o Laboratório de Cultura de Algas e Cianobactérias "Marilza Cordeiro Marino" do Instituto de Botânica em São Paulo. Os espécimes foram cultivados em água do mar esterilizada e enriquecida com 25% da solução de Von Stosch (VS/4), de acordo com Edwards(1970), com redução na concentração de vitaminas em 50%, conforme Yokoya (2000), com adição de 1 mg.L⁻¹ de dióxido de germânio para inibir o crescimento de diatomáceas (Paula et al., 2001).

A liberação dos carpósporos foi induzida sob baixa irradiância (< 8 μmol de fótons m⁻²s⁻¹), medidos com o auxílio de um quanta-metter. Talos com cerca de 1cm, contendo entre um e três cistocarpos, foram colocados sobre lâminas de vidro (2x2cm), que estavam no interior de placas de Petri contendo meio de cultura (VS/4). Decorridas 48 h, o talo com cistocarpos foi retirado e as lâminas com carpósporos foram transferidas para frascos de vidro com aproximadamente 150 ml do meio VS/4. O diâmetro dos carpósporos recém-liberados foi medido.

As condições experimentais para o cultivo das plantas cistocárpicas, durante o período de 30 dias de aclimação, foram as seguintes: fotoperíodo 12/12 h (claro/escuro), temperatura 23°C (+/- 1,0), densidade de fluxo fotônico de 60 a 70 μmol de fótons.m⁻² s⁻¹, e salinidade mantida em 35 ups. Em todos os experimentos, o meio de cultura foi trocado semanalmente. Em cada um dos tratamentos, o fator físico a ser avaliado variou conforme descrito abaixo:

4.1.1. Densidade de Fluxo Fotônico (DFF) -Em câmara de cultivo, com o auxílio de lâmpadas do tipo luz do dia e filtros, foram montados cinco tratamentos sob diferentes densidades de fluxo fotônico: 200 ± 5 μmol de fótons m⁻² s⁻¹; 100 ± 5 μmol de fótons m⁻² s⁻¹; 62,5 ± 2,5 μmol de fótons m⁻² s⁻¹; 30 ± 1,5 μmol de fótons m⁻² s⁻¹ e 18 ± 1 μmol de fótons m⁻² s⁻¹. Cada tratamento

teve quatro repetições e em cada uma delas semanalmente 20 plântulas foram amostradas aleatoriamente através de fotografias, para a realização de medidas do diâmetro do disco germinativo e/ou do comprimento do eixo ereto.

4.1.2. Salinidade - As diferentes salinidades foram obtidas a partir da concentração dos sais por congelamento e descongelamento da água do mar, de acordo com Yokoya et al. (1999), estabelecendo-se os seguintes valores: 07, 15, 25, 35, 45 e 55 ups. Cada tratamento teve três repetições e em cada uma delas, semanalmente, 20 plântulas foram amostradas aleatoriamente, através de fotografias, para a realização de medidas do diâmetro do disco germinativo e/ou do comprimento do eixo ereto. O experimento foi desenvolvido na sala de cultura sob as condições acima mencionadas.

4.1.3 Temperatura - Os experimentos de temperatura foram desenvolvidos em câmaras de cultura em temperaturas de 20, 25, 30 e 35 °C (+/- 0,5 °C), Cada tratamento teve três repetições e em cada uma delas, semanalmente, 20 plântulas foram amostradas aleatoriamente através de fotografias, para a realização de medidas do diâmetro do disco germinativo e/ou do comprimento do eixo ereto.

Em cada um dos experimentos foi calculada a taxa de crescimento (TC) conforme proposto em Brinkhuis (1986), com base na fórmula: $TC = (\ln \text{ comprimento final} - \ln \text{ comprimento inicial} / \text{tempo final} - \text{tempo inicial}) \times 100$. Foi calculada a regressão linear para verificar a existência de correlação direta entre os fatores testados e o crescimento de *G. caudata* (Zar, 1996).

Os resultados foram testados quanto à sua normalidade e homocedasticidade e quando possível, foi realizada a análise de variância “ANOVA” unifatorial e *a posteriori* o teste de Student-Newman-Keuls comparou os tratamentos significativamente diferentes. Quando requisitos de normalidade e homogeneidade das variâncias não foram atendidos, foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, conforme Zar (1996). O programa SigmaStat foi utilizado para efetuar as rotinas de cálculos.

4.2. Monitoramento de longo prazo da biomassa da população de *G. caudata* na praia de Ponta de Mato, Cabedelo , PB (6°57'35"S 34°49'21"W)

O banco de *Gracilaria caudata* da Praia de Ponta de Mato, Cabedelo, PB (6°57'35"S 34°49'21"W) foi selecionado em função da ocorrência desta espécie em densidade que permitisse a coleta em caráter comercial e da efetiva ocorrência desta atividade por parte da população local, além da existência de dados pretéritos não publicados, coletados por este autor nos anos de 1996, 1997 e 2005 e parte por Farias et al. (2004) nos anos de 2001 e 2003.

As amostragens foram realizadas da mesma maneira que as definidas nos estudos anteriores no sentido de permitir a comparação entre os períodos. Desta maneira foi realizada uma amostragem com 26 pontos de coleta no interior da área "core" de ocorrência da população de *G. caudata*. A área foi definida, tendo como base informações de coletores locais, sendo que os limites do banco foram estabelecidos visualmente e demarcados através de GPS baseando-se na presença ou ausência da espécie. As coordenadas dos 26 pontos sorteados sobre um gride, disposto sobre um mapa da área de ocorrência da espécie, podem ser observadas na Tabela 1. A Figura 2 mostra a área de ocorrência do banco de *G. caudata* em Cabedelo, e os pontos de coleta realizados ao longo de 13 anos.

As amostras foram obtidas a partir de um quadrado com 0,50 x 0,50 m (0,25 m²). A embarcação era fundeada sobre cada um dos pontos sorteados e o elemento amostral era assentado no assoalho marinho a partir da proa da embarcação. No interior dos quadrados, todos os indivíduos de *G. caudata* foram coletados através de arranque manual e transportados para o Laboratório de Algas Marinhas do Departamento de Sistemática e Ecologia, onde foram secas em estufa por 72 h a 90 °C, para a realização da medida do seu peso seco. A biomassa por metro quadrado foi obtida pela extrapolação da área coletada (0,25 m²) para a unidade métrica.

Considerando os dados pretéritos como fazendo parte da base de dados a ser avaliada, a amostragem inicial foi realizada em abril de 1996. Naquele ano a população não estava sendo explorada e se mostrava visualmente de forma "exuberante". No início do ano de 1997, foi efetuada a coleta de algas na

região em tela (com. pers. Sr. Antonio Hiroshi – Gerente da Agar Brasileiro Ind. E Com. Ltda), desta forma a segunda amostragem foi realizada em março de 1997, com o objetivo de estimar a população local antes da colheita. Em maio do mesmo ano, após a coleta comercial ter sido realizada pelos alqueiros, foi realizada uma amostragem para quantificar o efeito da atividade de exploração sobre o banco de *G. caudata* de Cabedelo. Amostras subseqüentes utilizando a mesma metodologia foram realizadas posteriormente em fevereiro de 2001 e dezembro de 2003 (Farias et al. 2004). As demais coletas foram realizadas em abril de 2005, fevereiro de 2006, março de 2007, fevereiro de 2008 e janeiro de 2009. Todas tiveram como base as mesmas coordenadas estabelecidas em 1996 através do uso de um GPS.

Os resultados foram testados quanto à sua normalidade e homocedasticidade, e quando possível foi realizada a análise de variância “ANOVA” unifatorial e *a posteriori* o teste de Tukey comparou os tratamentos significativamente diferentes. Quando requisitos de normalidade e homogeneidade das variâncias não foram atendidos, foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e o teste *a posteriori* de Mann-Whitney, conforme Zar (1996). O pacote estatístico PAST foi utilizado para efetuar as rotinas de cálculos.

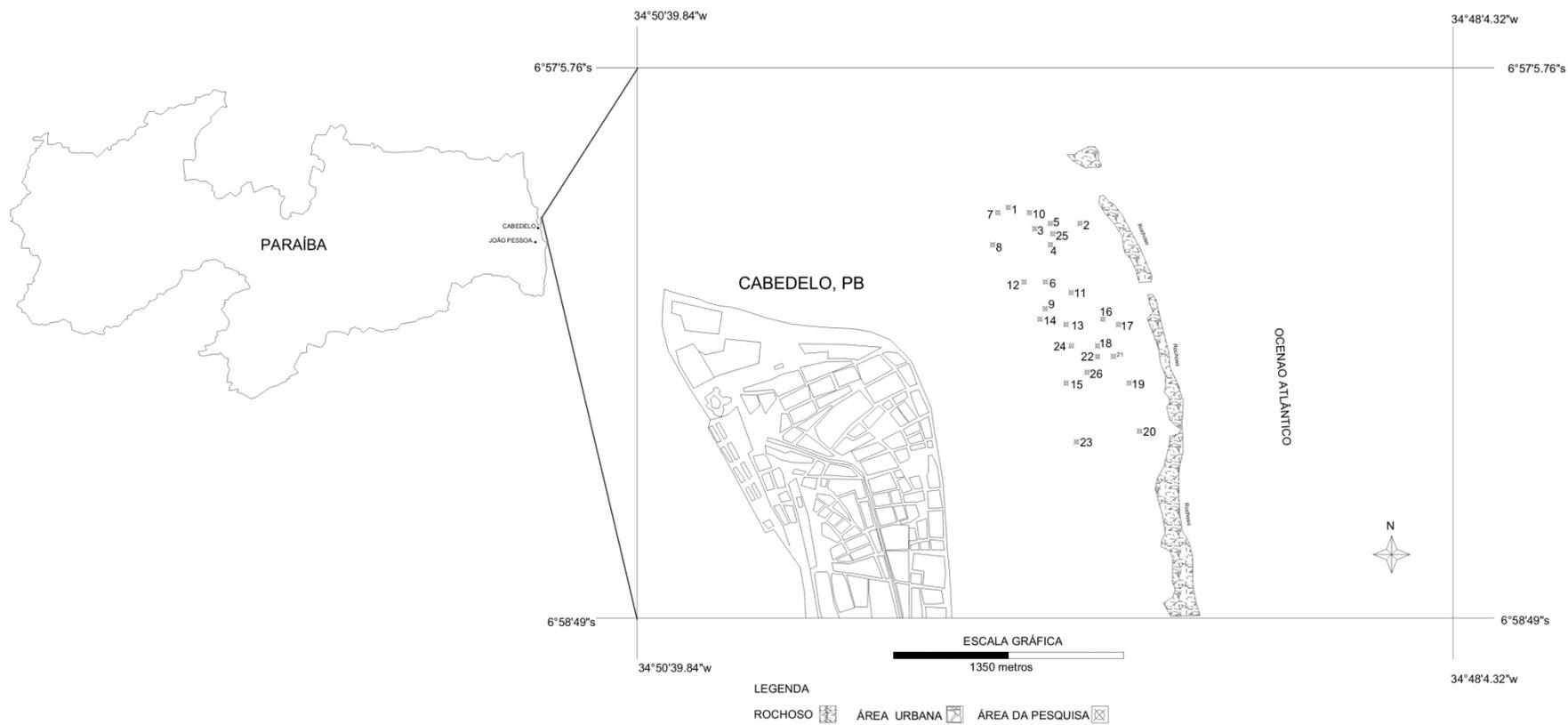


Figura 2. Mapa da distribuição dos pontos de coleta na população de *G. caudata* na Praia de Cabedelo (PB) no período de estudos (1996/2009)

4.3. Aspectos fenológicos de *G. caudata* em diferentes populações naturais nos estados da Paraíba e Pernambuco

Quatro populações naturais de *G. caudata* foram selecionadas para o desenvolvimento deste estudo. A Figura 1 traz um mapa com a localização de cada uma delas. Essas populações possuem diferentes graus de impactos referentes à exploração comercial. A primeira, localizada na Praia de Ponta de Mato, PB (6°57'35"S 34°49'21"W), foi selecionada em função de existirem dados pretéritos (Miranda, 2000), sobre a relação proporcional entre as diferentes fases do ciclo de vida desta espécie, a saber plantas tetraspóricas (2n), masculinas (n) e femininas (n), e pelo fato de ter sido estimado o percentual de indivíduos não férteis. Além disso, esta população foi alvo de forte atividade de coleta comercial até o ano de 1997, já descrita anteriormente, quando a partir de então sua ocorrência na área é pouco comum. Essa população ocorre sobre o substrato recifal costeiro, em uma profundidade entre 0,5 e 1,0m na maré baixa (Fig. 1).

A segunda população selecionada localiza-se na Praia de Coqueirinho, PB (7°17'58"S 34°47'54"W), e foi escolhida por nunca haver sido alvo de exploração comercial. As algas ocorrem em poças de maré, bem como na região de médiolitoral, sobre substrato de arenito ferruginoso que compõe os *beach rocks* presentes naquela região.

A terceira população selecionada ocorre na Praia de Ponta de Pedras, PE (7°37'39"S 34°48'06"W). Coletas comerciais foram observadas neste banco de algas, durante o final da década de 90 e início dos anos 2000. Este banco se distribui sobre uma extensa área com profundidade média de 0,5m, na maré baixa, com presença de rodólitos associados a recifes.

A quarta população selecionada está localizada na praia de Itamaracá, PE (7°44'31"S 34°49'21"W). Relatos de coleta comercial para essa área não são conhecidos. Porém, recentemente projetos de cultivo de algas localizados no município de Pitimbu, PB (SEAP/FAO) e Pau Amarelo, PE (Programa PETROBRAS Ambiental) coletaram nesta área, material para a implantação de cultivos experimentais. Embora os valores de biomassa

não sejam conhecidos, em função da escala piloto dos projetos, estima-se que estes valores sejam bastante baixos. Os bancos de algas são encontrados em profundidades entre 0,5 e 1,0m na maré baixa, e apresentam um fundo arenoso com presença de rodólitos e fragmentos de substratos consolidados de origem biológica diversa.

Com o objetivo de conhecer a frequência da ocorrência de cada uma das fases do ciclo de vida de *G. caudata* nas populações selecionadas, foram realizadas amostras aleatórias trimestrais durante 15 meses, entre janeiro de 2008 e abril de 2009. As amostras foram realizadas com o auxílio de uma bússola e aconteceram da seguinte forma: 1) Escolha da área de coleta (ponto zero), que obrigatoriamente deve apresentar a espécie em tela; 2) Sorteio de uma direção em graus entre 0 e 360; 3) Sorteio de uma distância entre 1 e 30m. Desta maneira, 30 indivíduos foram coletados a cada período. Na população estudada em Carapibus (PB), em função da estreita faixa de substrato com a presença desta espécie, a distância foi reduzida de 30m para 10m. Em todas as áreas, caso não houvesse alga da espécie desejada no ponto sorteado foi coletada a alga mais próxima à direita.

Após as coletas, as algas foram colocadas em sacos plásticos e levadas para o Laboratório de Algas Marinhas do Departamento de Sistemática e Ecologia da Universidade Federal da Paraíba, onde o material foi identificado e triado quanto à fase do ciclo de vida. Quando pela inexequibilidade do tempo, não pode ser realizada a triagem e a identificação no mesmo dia, o material foi fixado em formol a 4% para análises posteriores.

Os dados fenológicos da população de *G. caudata* da praia de Ponta de Mato, Cabedelo (PB), obtidos por Miranda (2000) antes do impacto da exploração em 1997 foram incorporados ao presente estudo para efeito de comparação.

O teste do χ^2 (Zar, 1996) foi utilizado para testar a proporção de 1:1 entre plantas masculinas e femininas. Esta proporção seria a esperada, considerando-se o controle genético na determinação do sexo, conforme

Van der Meer et al,1977. O mesmo teste foi utilizado para avaliar variação das proporções entre os meses estudados (efeito sazonal).

Análise não paramétrica de similaridade, a partir do índice de Bray-Curtis, deu suporte para a confecção de um cluster entre as diferentes populações. Neste caso foram comparadas as proporções das diferentes fases do ciclo de vida de *G. caudata*, nas diferentes populações objetivando verificar algum padrão entre nível de impacto da atividade de exploração e um possível efeito nos aspectos fenológicos desta espécie.

4.4. Desenvolvimento de técnicas de recuperação de populações de *Gracilaria caudata* degradadas pela exploração comercial

4.4.1. Confecção dos substratos

Foram confeccionados 50 substratos artificiais em argamassa com alta granulometria em molde de areia tendo como modelo um nódulo de alga calcária com formato irregular, com aproximadamente 200 cm² (Figura 3). Esses substratos constituíram 5 grupos cada um com 9 unidades cada (n=9) que foram submetidos a diferentes tratamentos, a serem descritos posteriormente, e transplantados para o banco de algas localizado na praia do Bessa em João Pessoa ,PB. (7° 4' 50" S e 34° 49' 39" W) (Fig.1).

Os substratos confeccionados foram deixados em "cura" por aproximadamente 30 dias e, antes da sua implantação, foram ainda deixados em água doce, com troca e lavagens diárias por cinco dias.



Figura 3. Aspecto geral dos substratos artificiais. A numeração em epóxi identifica os tratamentos.

4.4.2. Coleta e aclimação das algas

Aproximadamente 40 indivíduos adultos e férteis de *G. caudata* foram coletados da praia de Itamaracá-PE. Estas algas foram transportadas para o Laboratório de Algas Marinhas do DSE/UFPB onde foram triadas para a identificação quanto à fase do seu ciclo de vida. A triagem também envolveu a retirada de epífitas e animais associados. Após a triagem, as algas, cistocárpicas e tetraspóricas, foram mantidas no cultivo em tanques de 100 litros, aerados, sob temperatura de 25 C (+/- 1 C), e fotoperíodo de 12/12 com densidade de fluxo fotônico em torno de 80 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (+/- 20).

4.4.3. Colonização dos substratos e preparação dos transplantes

Os substratos artificiais, também denominados nódulos artificiais, foram colonizados a partir de carpósporos de *G. caudata* ou a partir da fixação de talos de indivíduos adultos, carpospóricos ou tetraspóricos, diretamente sobre os nódulos artificiais. Essa colonização se deu de duas diferentes maneiras: a. Colonização dos nódulos através de carpósporos: efetuada colocando-se aproximadamente 40 g de plantas cistocárpicas, acima dos mesmos e fixadas a estes através de ligas de borracha, mantidas sob baixa irradiância ($5 \mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1} \pm 5$), durante 3 dias. As demais condições de cultivo foram semelhantes às descritas no item 4.4.2. Após esse período as algas “mãe” foram retiradas e os nódulos foram cultivados conforme condições descritas, durante sete dias. b. Fixação de talos de algas tetraspóricas ou carpospóricas: introdução de aproximadamente 30 g de peso úmido escorrido da alga nas cavidades previamente preparadas nos nódulos artificiais e fixando-se a estes com massa epóxi. Em cada nódulo, foram fixados dois talos de *G. caudata*. Neste método de fixação, além de verificar a eficiência da técnica a partir do crescimento vegetativo, avaliou-se a possibilidade da colonização através de esporos (carpósporos ou tetrásporos) liberados por parte das plantas maduras aderidas aos nódulos, depois de transplantados para o mar (Figura 4).

4.4.4. Tratamentos realizados

Considerando cada uma das diferentes formas de “colonizar” os nódulos com *G. caudata* como um tratamento além dos controles, teremos ao todo cinco diferentes tipos de tratamentos. Tratamento I: nódulos colonizados a partir de carpósporos (nódulos+carpósporos), com n=9; Tratamento II: nódulos colonizados a partir talos de algas cistocárpicas fixadas aos mesmos, utilizando massa epóxi, com n=9; Tratamento III: nódulos colonizados a partir talos de algas tetraspóricas fixadas aos mesmos utilizando massa epóxi, com n=9; Tratamentos controle: Interno e Externo, nestes tratamentos nenhum tipo esporulação ou fixação foi efetuado. O controle interno refere-se aos nódulos

cuja localização dos transplantes se deu dentro da área experimental na qual os outros tratamentos foram transplantados. O controle externo teve os nódulos transplantados em área com aproximadamente 100m de distância dos outros tratamentos. O objetivo deste desenho amostral foi verificar a colonização natural dos substratos a partir de propágulos de *G. caudata*, bem como excluir possíveis efeitos das algas fixadas nos nódulos sobre a colonização dos mesmos.



Figura 4. Preparação dos experimentos e acondicionamento dos nódulos para os transplantes: **a.** Fixação de carpósporos. **b.** Fixação de plantas cistocárpicas. **c** e **d.** Fixação de plantas tetraspóricas. **e** e **f** Preparação dos nódulos para o transplante.

4.4.5. Transplantes

Após uma semana de cultivo em tanques, os nódulos artificiais preparados em cada um dos cinco tratamentos, foram transplantados para a praia do Bessa (7°4'50"S; 34°49'39"W) em 22/05/2008. Esta área foi escolhida por ter sido um local de exploração de *G. caudata* na década de 90 e por ser contígua à população de Cabedelo (PB) já descrita. No local, atualmente a presença desta espécie é rara. A profundidade média durante a maré baixa é de 0,9m e o fundo é formado por um substrato consolidado, composto por nódulos de algas calcárias, corais e sedimentos de *Halimeda*. Os nódulos artificiais, em um total de 45, sendo nove por tratamento (n=9), foram distribuídos aleatoriamente no assoalho marinho, em seis colunas e seis linhas, a uma distância de 0,50cm entre eles (Fig. 5). O quinto tratamento "Controle Externo" foi implantado a aproximadamente 100m de distância (7°4'50"S; 34°49'41"O).

III	C1	III	II	I	II
II	III	I	C1	III	C1
III	II	C1	I	II	I
C1	III	I	III	C1	II
II	C1	II	I	III	C1
I	I	III	C1	I	II

Figura 5. Distribuição aleatória dos nódulos sob diferentes tratamentos: Tratamentos I ■, II ■, III ■ e C1 (Controle interno) ■.

4.4.6. Análise qualitativa e quantitativa da população de *G. caudata* e da colonização e sucessão da comunidade de macroalgas sobre os substratos artificiais

Mensalmente, durante o período de um ano, todos os nódulos introduzidos no mar foram amostrados de maneira não destrutiva, determinando a presença/ausência das espécies de macroalgas mais conspícuas. As algas epífitas ou de tamanho diminuto, embora presentes nos nódulos, podem ter tido a presença negligenciada devido a escolha por coletas não destrutivas, que não interferissem no processo de colonização e sucessão. Ao final do experimento, toda a biomassa algal foi raspada, triada, identificada e teve seu peso seco medido, após 72h em estufa a 90 C. A identificação das espécies que colonizaram os nódulos artificiais foi confirmada através de técnicas usuais em ficologia no Laboratório de Ficologia do Departamento de Oceanografia da UFPE e no Laboratório de Algas Marinhas da UFPB.

Com base nos dados mensais de presença/ausência e do peso medido, no final dos experimentos, foram calculadas a frequência de ocorrência e a riqueza, entendida aqui como a expressão do número médio de espécies por substrato artificial. Uma análise gráfica da frequência avaliou o processo de colonização dos substratos artificiais e a efetividade dos tratamentos de colonização por *G. caudata*. A riqueza, conforme descrita acima, também foi utilizada para a análise do processo de colonização dos substratos.

Os resultados foram testados quanto à sua normalidade, homocedasticidade, e foi realizada a análise de variância “ANOVA” unifatorial e a *posteriori* o teste de Tukey comparou os tratamentos significativamente diferentes. Quando requisitos de normalidade e homogeneidade das variâncias não foram atendidos, foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e o teste a *posteriori* de Mann-Whitney, conforme Zar (1996). O pacote estatístico PAST foi utilizado para efetuar as rotinas de cálculos.

A partir do peso seco obtido de *G. caudata*, na coleta realizada no último mês dos experimentos, foi realizada uma análise de variância para avaliar a diferença entre os diferentes tipos de tratamentos, verificando-se assim a eficácia dos métodos de colonização de *G. caudata*.

5. RESULTADOS

5.1. Efeitos da temperatura, salinidade e irradiância sobre o desenvolvimento de plântulas originadas da germinação de carpósporos de *Gracilaria caudata*

O padrão de germinação encontrado nos esporos é compatível com o descrito por Yokoya & Oliveira (1993) Polifrone et al. (2006), Yeong et al. (2008), e Mantri et al. (2009) e corresponde ao tipo *dumontia* conforme descrito por Guiry (1990). Uma característica bastante comum encontrada neste estágio, foi a fusão dos discos basais, dando origem a um disco de fusão com três ou mais eixos eretos. A ramificação inicial do eixo ereto ocorreu tanto lateralmente quanto no ápice do eixo. Foi ainda observada a germinação do carpósporo no cistocarpo da planta mãe, ou seja, germinação *in situ* (Figura 6).

5.1.1. Efeito da irradiância sobre a germinação e desenvolvimento das plântulas

Os carpósporos utilizados no experimento tiveram diâmetro inicial de $23,7 \mu\text{m}$ ($\pm 0,37$). Nenhum dos tratamentos inibiu completamente a germinação dos carpósporos ou limitou o crescimento do eixo ereto das plântulas. A análise de variância e o teste a *posteriori* de Student-Newman-Keuls, ao final do experimento, indicaram haver diferenças significativas entre todos os tratamentos, exceto entre os tratamentos a $100 \pm 5 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e a $62,5 \pm 2,5 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Resumidamente, podemos formular que o crescimento entre os tratamentos se comportou da seguinte maneira: $200 \pm 5 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{s}^{-1} > 100 \pm 5 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{s}^{-1} \cong 62,5 \pm 2,5 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{s}^{-1} > 30 \pm 1,5 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{s}^{-1} > 18 \pm 1 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Fig. 6 e Fig. 7) ($>$ diferença significativa; \cong não significativa). Uma forte correlação positiva foi encontrada entre a intensidade de fluxo fotônico e comprimento do eixo ereto com $r = 0,98$. A figura 7 mostra os valores das taxas de crescimento ao final do experimento acompanhado das análises estatísticas.

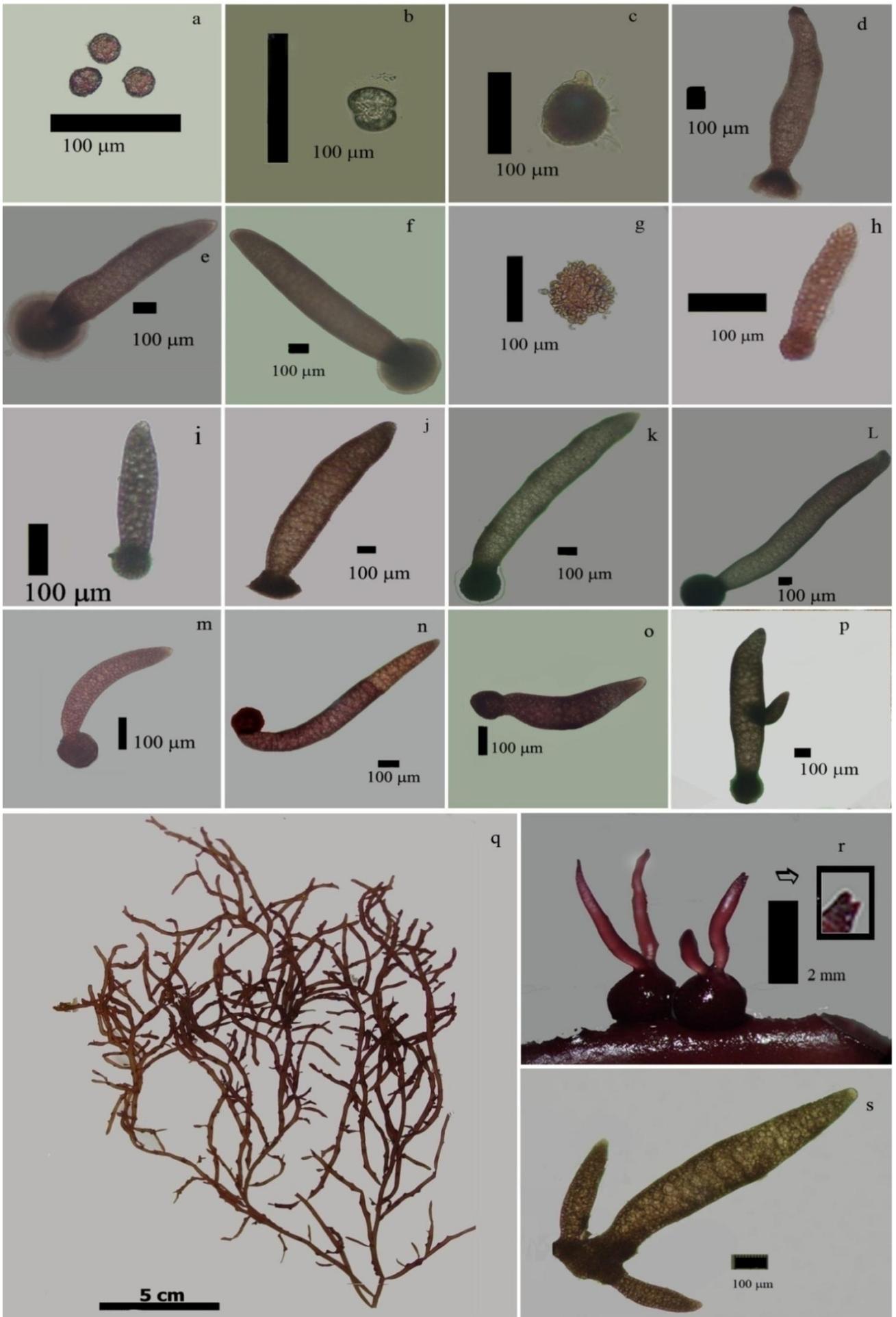


Figura 6. *Gracilaria caudata* **a**: Carpósporos. **b**: Carpósporos mortos submetidos a salinidade de 07 ups na primeira semana de experimento. **c**, **d**, **e**, e **f**: Plântulas ao final do experimento de salinidade (26 dias), respectivamente 15, 25, 35 e 45 ups. **g**: Plântulas desenvolvidas na salinidade de 55 ups, sete dias após o início dos experimentos. **h**, **i**, **j**, **k** e **l**: Plântulas submetidas a diferentes densidades de fluxo fotônico no final do experimento (31 dias). **h** - 17 a 19 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$; **i** - 29 a 32 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$. **j** - 60 a 65 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$. **k** - 95 a 105 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e **l** - 195 a 205 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$. **m**, **n** e **o**: Plântulas submetidas a diferentes temperaturas no final dos experimentos (25 dias), 20°C, 25°C e 30°C respectivamente. **p**: Detalhe de ramificação lateral em plântula (31 dias). **q**: Aspecto geral. **r**: Germinação de carpósporo diretamente no cistocarpo, detalhe da ramificação apical na plântula. **s**: Fusão de plântulas através do disco basal.

A formação dos discos germinativos também foi afetada pelos diferentes tratamentos com diferentes DFF. Neste caso, as análises estatísticas indicaram não existirem diferenças significativas no crescimento entre os tratamentos com 200 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (± 5) e 100 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (± 5), assim como entre as densidades de 30 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($\pm 1,5$) e 18 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (± 1). Resumidamente, a ordem decrescente considerando o crescimento do disco basal, foi a seguinte: 200 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ \cong 100 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ > 62,5 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ > 30 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ \cong 18 $\mu\text{mol de fótons. m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (> = estatisticamente diferente; \cong = sem diferença estatísticas significativa).

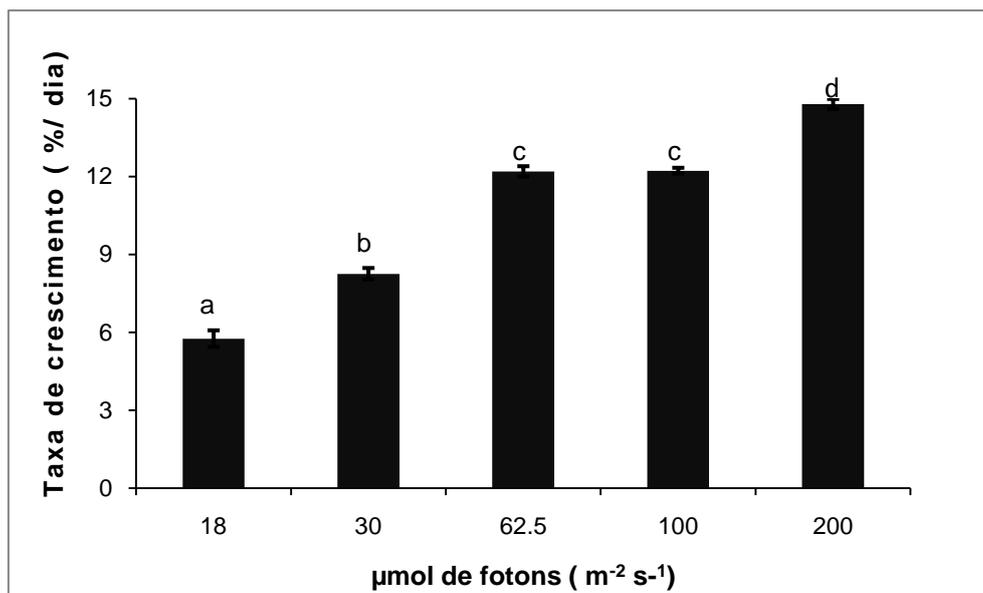


Figura 7. Taxa de crescimento de plântulas originadas de carpósporos de *Gracilaria caudata* no experimento com diferentes irradiâncias (n=4; média de 20 medidas). Barras representam o desvio padrão. Diferentes letras entre os tratamentos indicam diferenças significativas (Student-Newman Keulss p= 0,05).

5.1.2. Efeito da salinidade no desenvolvimento dos carpósporos

Os carpósporos liberados para a avaliação dos efeitos da salinidade mediram, no início dos experimentos, 23,49 µm (+/- 0,56) de diâmetro. A salinidade teve limites de tolerância mínimos e máximos estabelecidos, respectivamente, entre 07 ups e 55 ups. Estes valores foram letais e impediram a formação dos discos germinativos (Figura 6).

O crescimento máximo ocorreu na salinidade 35 ups, e os valores de 15 ups inibiram a formação do eixo ereto nas plântulas, mantendo-as em estágio de disco germinativo. Dados de crescimento do eixo ereto indicaram, ao final dos experimentos, a seguinte ordem decrescente: 35ups > 45 ups > 25 ups > 15 ups, apresentando diferenças significativas entre todas as salinidades testadas (Fig. 8).

A formação do disco basal também foi influenciada pela salinidade, entretanto, neste caso, não foram encontradas diferenças significativas entre as salinidades de 25 ups a 45 ups, demonstrando a seguinte ordem decrescente: 25 ups \cong 35 ups \cong 45 ups > 15 ups > 55 ups (Fig. 4). A salinidade de 07 ups foi letal para os esporos. Não foi encontrada correlação linear entre o aumento das salinidades testadas e o crescimento das algas (r de *Pearson* = 0,20).

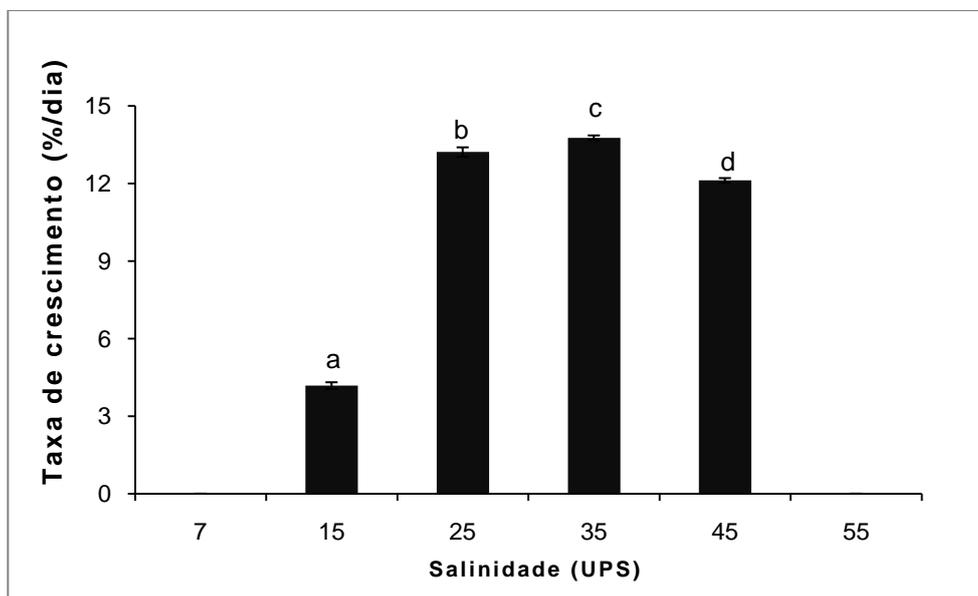


Figura 8. Taxa de crescimento de plântulas originadas de carpósporos de *Gracilaria caudata* no experimento com diferentes salinidades (n=3; média de 20 medidas). Barras representam o desvio padrão. Diferentes letras entre os tratamentos indicam diferenças significativas (Kruskal-Wallis).

5.1.3. O efeito da temperatura sobre a germinação e desenvolvimento das plântulas

O diâmetro dos carpósporos, utilizados no experimento para avaliar o efeito da temperatura, foi em média de 23,39 μm (+/- 0,30). A temperatura de 35° C foi letal para os esporos, enquanto que a temperatura de 25° C apresentou os melhores resultados, seguida pelas temperaturas de 30° C e 20°

C, respectivamente (Fig. 6). As análises estatísticas evidenciaram, ao final dos experimentos, diferenças significativas entre o crescimento das algas submetidas a temperaturas de 25 C e as demais temperaturas. Não foram encontradas diferenças significativas entre o crescimento das plântulas em temperaturas de 20° C e 30° C (Fig. 9).

Não foi encontrada correlação linear (r de Pearson = 0,09) entre o aumento da temperatura para os valores testados e o crescimento de *G. caudata*. A formação do disco germinativo não apresentou diferenças significativas, quando submetida às diferentes temperaturas. As diferenças significativas se fizeram presentes apenas após o aparecimento do eixo ereto.

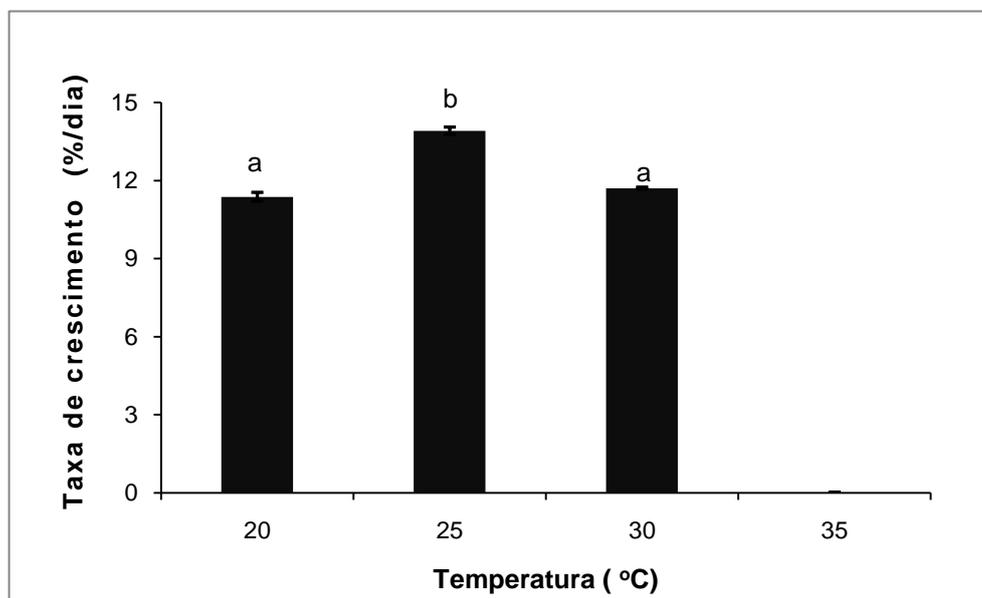


Figura 9. Taxa de crescimento de plântulas originadas de carpósporos de *Gracilaria caudata* no experimento com diferentes temperaturas (n=3; média de 20 medidas). Barras representam o desvio padrão. Diferentes letras entre os tratamentos indicam diferenças significativas (Kruskal-Wallis).

5.2. Monitoramento de longo prazo da biomassa da população de *Gracilaria caudata* na praia de Ponta de Mato, Cabedelo , PB (6°57'35"S 34°49'21"W)

A biomassa de *G. caudata*, calculada a partir do peso seco (g/m^2) e amostrada em cada uma das etapas e locais de coleta ($n=26$), pode ser observada na Tabela 1, que também traz a média e o desvio padrão em cada período. A Figura 10 mostra os valores médios de biomassa (g/m^2) em escala logarítmica. A análise de variância efetuada indica a existência de diferenças significativas entre os períodos.

A biomassa da população de *G. caudata*, estimada em abril de 1996 e março de 1997, oscilou entre $899,32 \text{ g/m}^2$ ($\pm 864,82$) e $1081,54 \text{ g/m}^2$ ($\pm 975,65$), respectivamente. Com a atividade de exploração realizada em abril/1997, a biomassa estimada presente foi reduzida em aproximadamente 99% atingindo $9,38$ ($\pm 16,74$) g/m^2 em maio de 1997. Nos anos de 2001, 2003, 2007 e 2009, embora a presença da alga no banco tenha sido visualmente registrada, a biomassa, considerando a metodologia utilizada, foi zero. Em março de 2005, fevereiro de 2006 e fevereiro de 2008, a biomassa estimada foi respectivamente $5,23$ ($\pm 9,42$) g/m^2 ; $6,38$ ($\pm 15,09$) g/m^2 ; e $4,46$ ($\pm 10,77$) g/m^2 .

Considerando que as amostras atenderam a critérios de normalidade e homocedasticidade, uma análise de variância (ANOVA) entre os períodos de coleta foi realizada, ressaltando que as amostras nas quais a média foi zero, foram excluídas desta análise. Foram observadas diferenças significativas entre os períodos amostrados. O teste a posteriori de Tukey foi aplicado para detalhamento da análise e demonstrou que as amostras de abril de 1996 e março de 1997 não apresentaram diferenças significativas entre si, do mesmo modo se comportaram as estimativas realizadas em maio de 1997, março de 2005, fevereiro de 2006 e fevereiro de 2008. Diferenças significativas foram encontradas entre todas as amostragens realizadas antes do impacto da atividade de exploração quando, comparadas às estimativas realizadas após o impacto (Fig. 10).

Tabela 1. Peso seco g/m² de *G. caudata*, nas etapas amostradas (2006/2009) no município de Cabedelo, incluindo dados não publicados (1996, 1997 e 2005), e incorporando os dados de jan/01 e jan/03 (Farias et al.2004), n=26. As coordenadas indicam a localização dos pontos de coleta.

n	Localização	abr/96	mar/97	mai/97	fev/01	jan/03	mar/05	fev/06	fev/07	fev/08	jan/09
1	6°57'32"S 34°49'29"W	2760	1280	0	0	0	0	4	0	0	0
2	6°57'35"S 34°49'25"W	1060	3600	0	0	0	0	4	0	0	0
3	6°57'36"S 34°49'24"W	480	1660	16	0	0	15	0	0	21	0
4	6°57'39"S 34°49'21"W	1540	3000	56	0	0	0	0	0	0	0
5	6°57'35"S 34°49'21"W	2540	2120	0	0	0	0	0	0	0	0
6	6°57'46"S 34°49'24"W	380	1020	0	0	0	7	6	0	0	0
7	6°57'33"S 34°49'31"W	1440	220	0	0	0	35	0	0	0	0
8	6°57'39"S 34°49'32"W	640	440	0	0	0	0	3	0	0	0
9	6°57'51"S 34°49'22"W	120	440	0	0	0	9	8	0	2	0
10	6°57'33"S 34°49'25"W	280	640	24	0	0	2	65	0	8	0
11	6°57'48"S 34°49'17"W	1840	2000	36	0	0	0	2	0	0	0
12	6°57'46"S 34°49'26"W	1380	1480	0	0	0	6	0	0	0	0
13	6°57'54"S 34°49'18"W	2580	2300	0	0	0	4	4	0	0	0
14	6°57'53"S 34°48'23"W	680	820	0	0	0	32	0	0	0	0
15	6°58'05"S 34°49'18"W	0	160	28	0	0	14	47	0	51	0
16	6°57'53"S 34°49'11"W	1020	1480	0	0	0	0	0	0	8	0
17	6°57'54"S 34°49'08"W	0	0	20	0	0	6	0	0	0	0
18	6°57'58"S 34°49'12"W	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
19	6°58'05"S 34°49'06"W	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
20	6°58'14"S 34°49'04"W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	6°58'00"S 34°49'09"W	340	1720	52	0	0	0	0	0	12	0
22	6°58'00"S 34°49'12"W	440	840	0	0	0	0	3	0	6	0
23	6°58'16"S 34°49'16"W	0	280	12	0	0	0	10	0	8	0
24	6°57'58"S 34°49'17"W	780	420	0	0	0	0	6	0	0	0
25	6°57'37"S 34°49'20,5"W	1320	1720	0	0	0	0	0	0	0	0
26	6°58'03"S 34°49'14"W	1760	480	0	0	0	0	0	0	0	0
	Média	899,23	1081,54	9,38	0,00	0,00	5,23	6,38	0,00	4,46	0,00
	Desvio	864,82	975,65	16,74	0,00	0,00	9,42	15,09	0,00	10,77	0,00

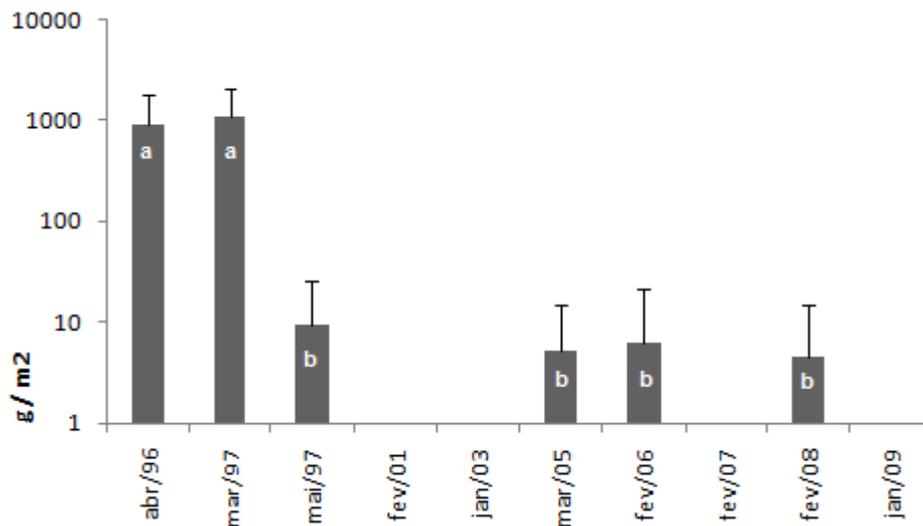


Figura 10. Gráfico da biomassa (peso seco g/m²) de *Gracilaria caudata* na praia de Ponta de Mato (PB), durante o período de abril/1996 e janeiro/2009. As barras indicam o desvio padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas. Escala γ logarítmica.

5.3. Aspectos fenológicos de *G. caudata* em diferentes populações naturais na costa dos estados da Paraíba e de Pernambuco

Os resultados mostrando a proporção média entre as fases do ciclo de vida de *G. caudata*, durante os períodos de estudos nas populações das praias de Cabedelo (PB), Carapibus (PB), Ponta de Pedras (PE) e Itamaracá (PE), podem ser observados na figura 11.

O teste do qui quadrado realizado entre os meses por populações, indicou que não foram encontradas diferenças significativas, ao longo dos meses, em nenhuma das populações estudadas, tendo sido encontrados os seguintes valores de p : Cabedelo ($p=0,756$); Ponta de Pedras ($p=0,9495$); Itamaracá ($p=0,9824$) e Carapibus ($p=0,9920$), evidenciando a inexistência de flutuação sazonal significativa. O mesmo teste, realizado entre algas masculinas e cistocárpicas, não encontrou a proporção esperada 1:1.

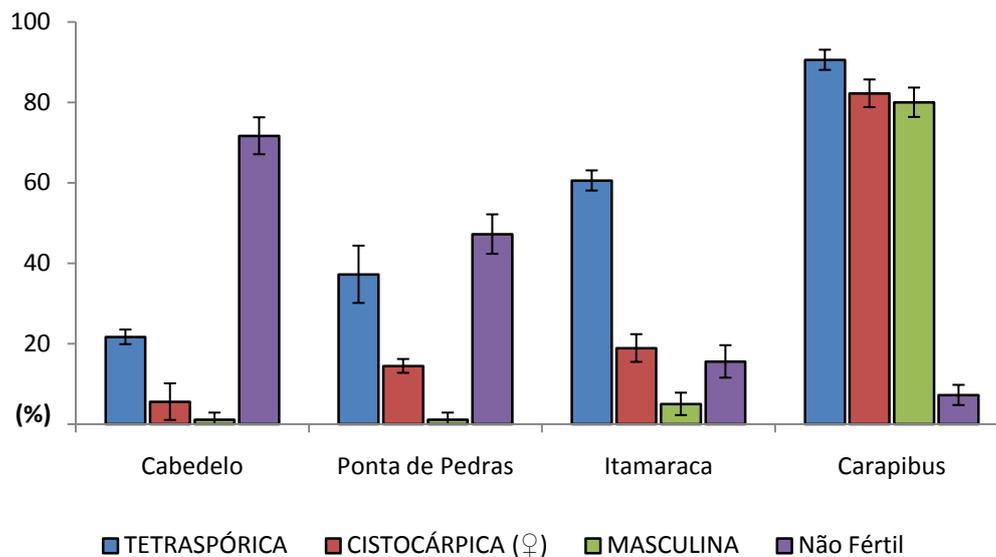


Figura 11. Distribuição percentual média das fases do ciclo de vida das populações de *Gracilaria caudata* estudadas no período compreendido entre Jan/08 e abr/09. As barras indicam o desvio padrão.

A população de *G. caudata* encontrada na praia de Cabedelo (PB) apresentou, entre as fases do seu ciclo de vida, durante o período dos experimentos, a seguinte proporção média: 71,67% (+/- 4,59) das algas se apresentaram não férteis; 1,11% (+/- 1,72) eram masculinas; 21,67% (+/- 1,83) das algas eram tetraspóricas e 5,56% (+/- 4,55) eram cistocárpicas. Não houve diferença significativa entre as proporções das fases fenológicas durante os meses estudados e a predominância de plantas não férteis caracterizou esta população (Fig.12).

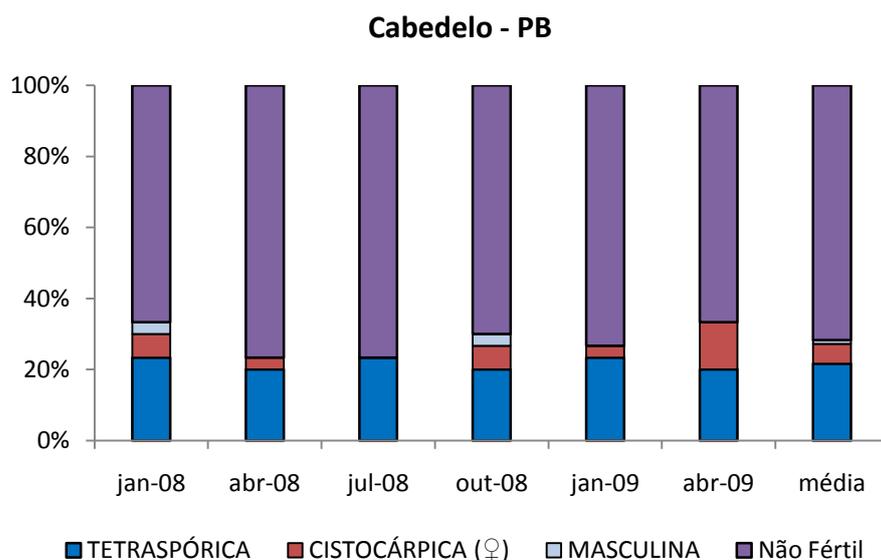


Figura 12. Distribuição percentual das fases do ciclo de vida da população de *Gracilaria caudata* em Cabedelo (PB), durante o período amostral (jan/08 – abr/09). n mensal = 30

A população presente na praia de Carapibus (PB) apresentou uma característica bastante peculiar. Aproximadamente 80% (+/- 3,65) dos indivíduos, se apresentaram na forma de “quimeras” (*sensu* Kain & Destombe, 1995), sendo encontrada na mesma alga, estruturas tetraspóricas, masculinas e femininas. Além deste total, 2,22% (+/- 1,72) eram exclusivamente cistocárpicas, 10,56% (+/- 2,51) exclusivamente tetraspóricas e 7,22% (+/- 2,51) não estavam férteis. Todas as plantas masculinas foram encontradas compondo as quimeras. Nesta população também não foram detectadas diferenças entre os meses amostrados (Fig. 13).

Na praia de Ponta de Pedras (PE), em média 37,22 % (+/- 7,12) da população de *G. caudata*, estudada durante o período, era tetraspórica, 14,44% (+/-1,72) cistocárpica, 1,11% (+/- 1,72) era masculina e 47,22 (+/- 4,91) não fértil. Nesta população, observou-se um relativo equilíbrio entre os percentuais de plantas tetraspóricas e não férteis, embora com pequena superioridade por parte das últimas, se manteve entre os meses (Fig. 14).

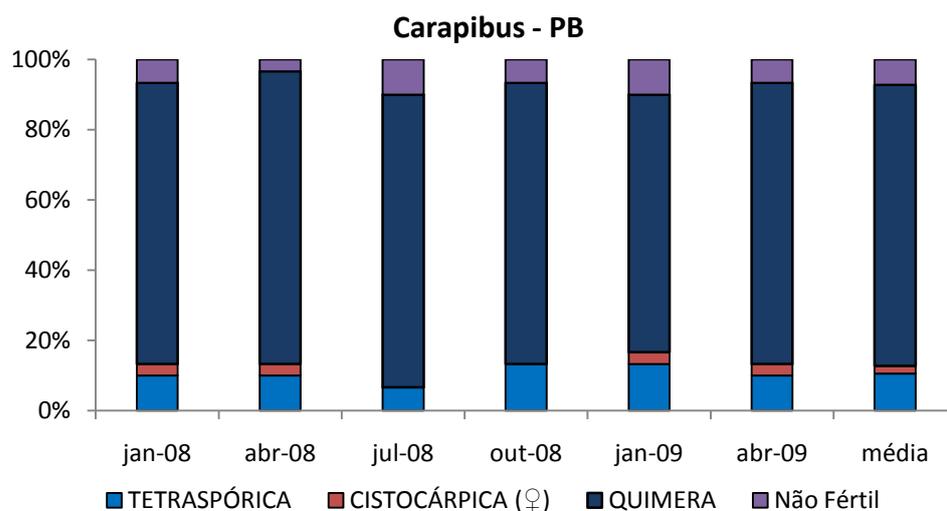


Figura 13. Distribuição percentual das fases do ciclo de vida da população de *Gracilaria caudata* em Carapibus (PB) durante o período amostral (jan/08 – abr/09). Os espécimes masculinos se encontram incluídos nas quimeras. n mensal = 30.

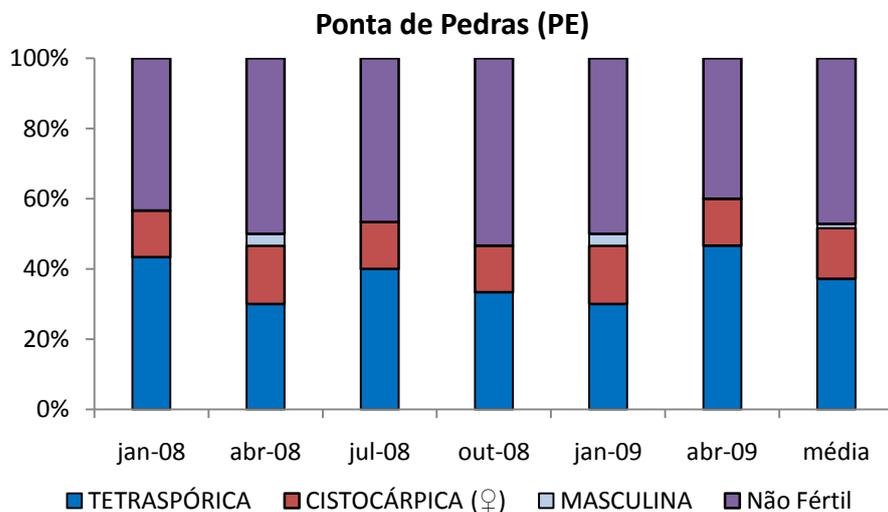


Figura 14. Distribuição percentual das fases do ciclo de vida da população de *Gracilaria caudata* em Ponta de Pedras (PE) durante o período amostra (jan/08 – abr/09). n mensal = 30.

Em Itamaracá, 60,56% (+/- 2,51) da população estudada durante todo o período foi tetraspórica, 18,89% (3,44) cistocárpica, 5% (2,79) masculina e 15,56% (+/- 4,04) não se encontrava fértil. Durante todas as etapas deste estudo as plantas tetraspóricas predominaram, seguidas das plantas cistocárpicas e não férteis. (Fig. 15).

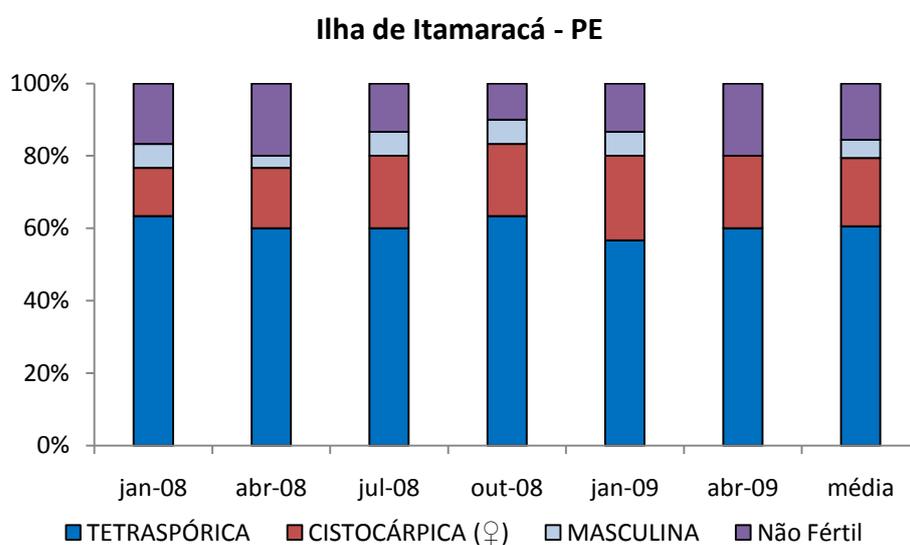


Figura 15. Distribuição percentual das fases do ciclo de vida da população de *G. caudata* em Itamaracá (PE) durante o período amostral (jan/08 – abr/09).. *n* mensal = 30.

A análise de similaridade (Bray-Curtis) entre as proporções das diferentes fases do ciclo de vida das populações estudadas, incluindo as informações de Miranda (2000), deram suporte para a formação do *cluster* que mostrou a formação de dois grupos, o primeiro formado no nível de 0,92 de similaridade, inclui a população de Itamaracá (PE) e a população de Cabedelo (1996/1997), o outro grupo, formado no nível de 0,76 de similaridade, uniu as populações de Ponta de Pedras e Cabedelo (atual). A população de Carapibus (PB) ficou isolada, juntando-se ao primeiro grupo, com valores mais baixos (0,54) (Fig.16).

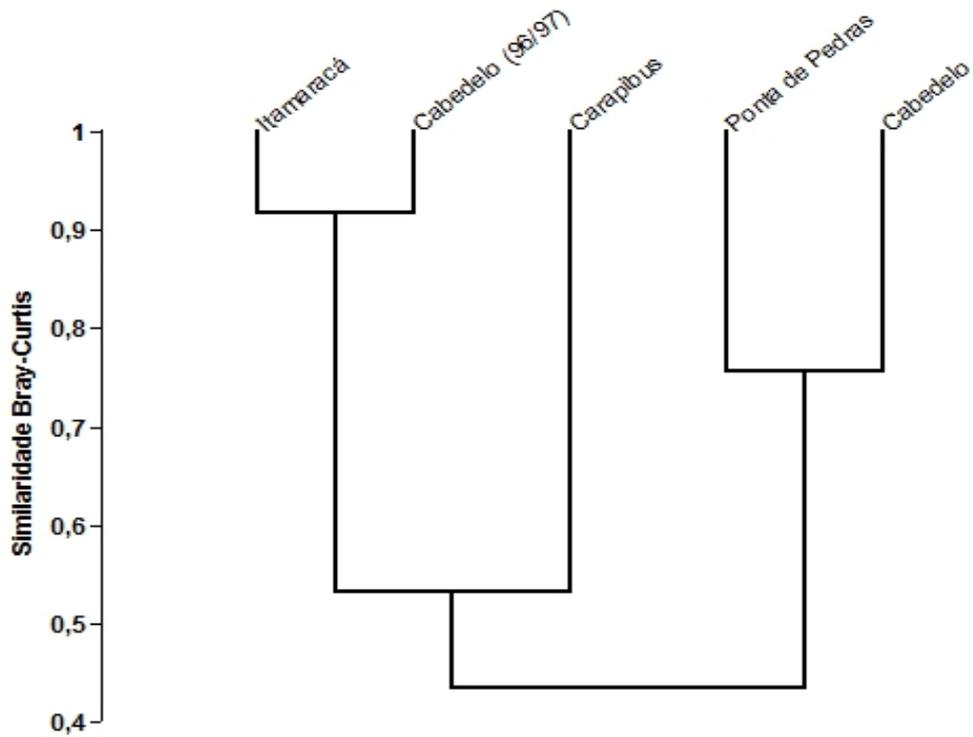


Figura 16. Cluster da análise de similaridade entre as fases do ciclo de vida de *G. caudata* nas populações estudadas. Índice de similaridade de Bray-Curtis. Dados para a população de Cabedelo (PB) 1996/1997 foram extraídos de Miranda (2000).

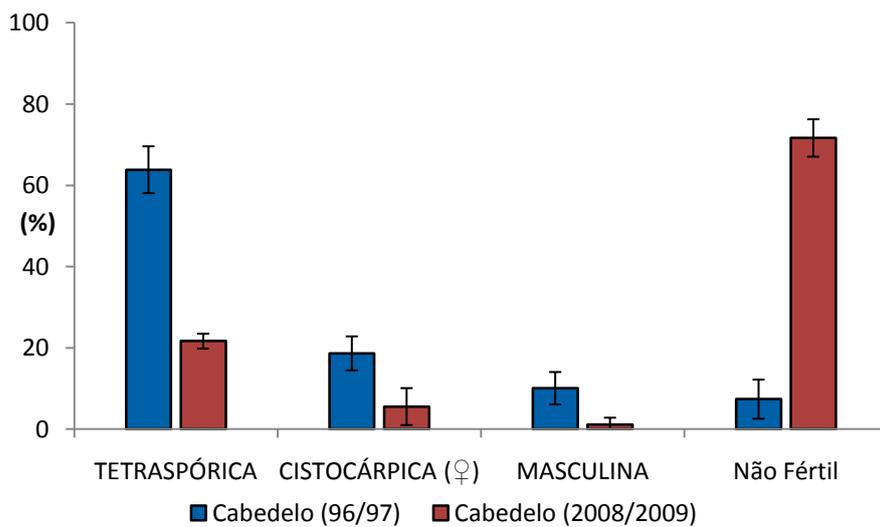


Figura 17. Gráfico da distribuição percentual das fases do ciclo de vida de *G. caudata* para a praia de Cabedelo (PB). Os dados de 1996/1997 foram incorporados de Miranda (2000).

As diferenças entre a população de Cabedelo (atual) e a população estudada por Miranda (2000) nos anos de 1996/1997, foram observadas em todas as fases analisadas, com uma nítida elevação do número de plantas não férteis nos estudos mais recentes. Este padrão se manteve em todos os meses do estudo (Figura 17).

5.4. Desenvolvimento de técnicas de recuperação de populações de *Gracilaria caudata* degradadas pela exploração comercial

Os substratos artificiais utilizados possibilitaram a fixação e o desenvolvimento de aproximadamente 35 espécies de algas, sendo sete Phaeophyta, oito Chlorophyta e 21 Rhodophyta,. A sinopse completa das espécies encontra-se abaixo e estão classificadas de acordo com Wynne (2005) a exceção para *G. caudata* conforme definição estabelecida no item 1.

CHLOROPHYTA

Ordem Cladophorales

Família Cladophoraceae

Chaetomorpha sp

Família Valoniaceae

Ernodesmis sp

Família Boodleaceae

Phyllodictyon sp

Ordem Bryopsidales

Família Bryopsidaceae

Bryopsis pennata J. V. Lamour

Família Caulerpaceae

Caulerpa mexicana Sond. ex Kütz.

Ordem Dasycladales

Família Dasycladaceae

Neomeris annulata Dickie

Ordem Ulvales

Família Ulvaceae

Ulva lactuca L.

PHAEOPHYTA

Família Sargassaceae

Sargassum cymosum sp

Ordem Dictyales

Família Dictyotaceae

Dictyopteris delicatula J. V. Lamour.

Dictyota cervicornis Kütz.

Dictyota dichotoma (Hudson) J. V. Lamouroux

Lobophora variegata (J. V. Lamour.) Womersley ex E. C.

Oliveira

Padina sanctae-crucis Bergesen

Spatoglossum schroederi (C. Agardh) Kütz.

RHODOPHYTA

Ordem Corallinales

Família Corallinaceae

Subfamília Lithophylloideae

Amphiroa sp

Subfamília Coralinoide

Jania sp

Ordem Ceramiales

Família Rhodomelaceae

Bryothamnion seaforthii (Turner) Kütz.

Família Rhodomelaceae

Enantiocladia duperreyi (C. Agardh) Falkenb. In F. Schmitz

Laurencia sp

Família Ceramiaceae

Ceramium sp

Haloplegma duperreyi Mont.

Família Champiaceae

Champia sp

Ordem Gigartinales

Família Cystocloniaceae

Hypnea musciformis (Wulfen in Jacquin) J. V. Lamour.

Hypnea spinella (C. Agardh) Kütz.

Hypnea cervicornis J. Agardh

Família Solieriaceae

Solieria filiformis (Kütz.) P. W. Gabrielson

Família Peyssonneliaceae

Peyssonelia sp Decne.

Ordem Halymeniales

Família Halymeniaceae

Cryptonemia crenulata (J. Agardh) J. Agardh

Ordem Gelidiales

Família Gelidiellaceae

Gelidiella acerosa (Forssk.) Feldmann & Hamel

Família Gelidiaceae

Gelidium sp

Ordem Graciraliales

Família Gracilariaceae

Gracilaria caudata J. Agardh

Gracilaria cervicornis (Turner) J. Agardh

Gracilaria cuneata Aresch.

Gracilaria domingensis (Kütz.) Sond. ex Dickie

Gracilaria mammillaris (Mont.) M. Howe

Os tratamentos realizados nos permitem afirmar que o melhor mecanismo para a fixação e crescimento de *G. caudata* nos substratos artificiais transplantados é através da liberação e fixação de carpósporos sobre os mesmos em sistema controlado (tanques), seguido da fixação nos substratos de plantas cistocárpicas ou tetraspóricas.

O peso seco medido no final dos experimentos encontrado, para o tratamento I, foi de 0,24 g / nódulo (+/- 0,17). O tratamento II teve o peso de 0,16 g / nódulo (+/- 0,13) e o tratamento III apresentou um peso seco de 0,16 g/nódulo (+/- 0,02). Os tratamentos controle externo e interno tiveram peso seco zero. A ANOVA mostrou haver diferença significativa entre os tratamentos I e III, (Figura 18).

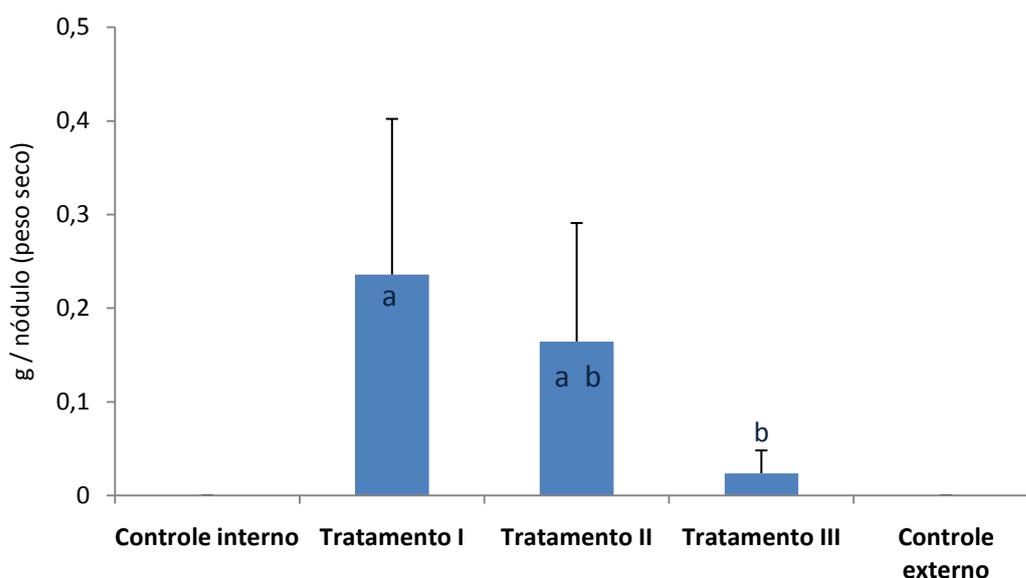


Figura 18. Gráfico do peso seco médio (g) por nódulo/tratamento (controle, Tratamento I, II e III). As barras indicam o desvio padrão. As letras iguais indicam que os tratamentos são estatisticamente semelhantes. $n=9$. por tratamento.

Os tratamentos “Controle interno” “externo” não apresentaram colonização por *G. caudata*. A freqüência desta espécie no tratamento I foi observada a partir de julho/08, aproximadamente 60 dias após os nódulos artificiais serem transplantados. Os tratamentos II e III tiveram uma queda inicial (jul/08) da freqüência, em função do desaparecimento das plantas

adultas implantadas, que se mantiveram fixas aos substratos artificiais por menos que 60 dias. Nestes tratamentos, foi registrado o aparecimento de plântulas que germinaram e permaneceram até o final dos experimentos. Os tratamentos I e II apresentaram 100% de freqüência a partir de ago/08, e o tratamento III teve freqüência média em torno de 75% (Figura 19).

A riqueza de espécies em todos os tratamentos apresentou a mesma evolução, com um aumento gradual que se tornou estatisticamente significativo ao longo de tempo. O número total de espécies encontrada, colonizando os nódulos artificiais por mês e por tratamento, é um valor absoluto e, portanto, maior que os valores de riqueza, que é calculado com base no número médio por nódulo. As figuras 20 a 25 mostram a evolução da riqueza nos experimentos durante o período estudado.

A presença de *G. caudata* nos tratamentos I, II e III não modificou o padrão discutido anteriormente para a riqueza. O número total de espécies encontrada, colonizando os nódulos artificiais por mês, considerando todo o experimento, foi sempre maior que o número encontrado em qualquer tratamento em particular. Da mesma maneira, a riqueza encontrada por nódulo foi sempre menor que o número total de espécies por tratamento por mês (Fig. 26).

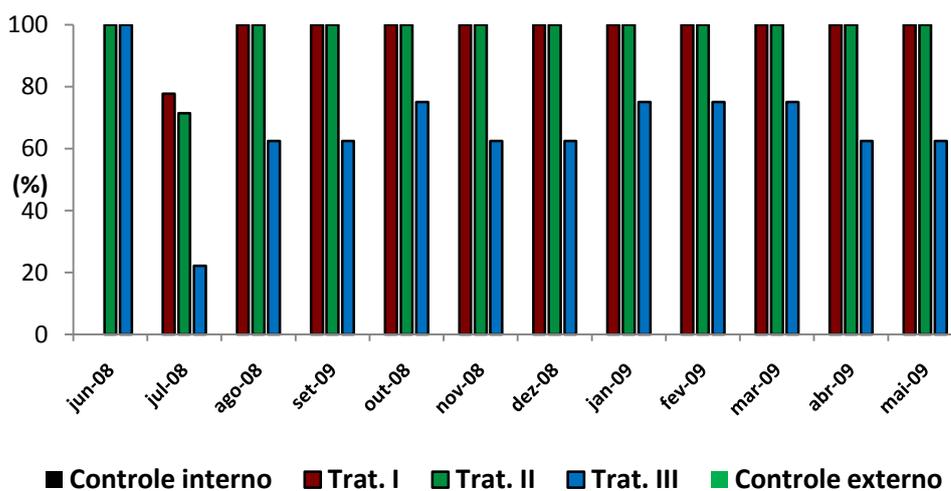


Figura 19. Gráfico da freqüência (%) de *Gracilaria caudata* nos substratos artificiais por tratamento, n=9 por tratamento.

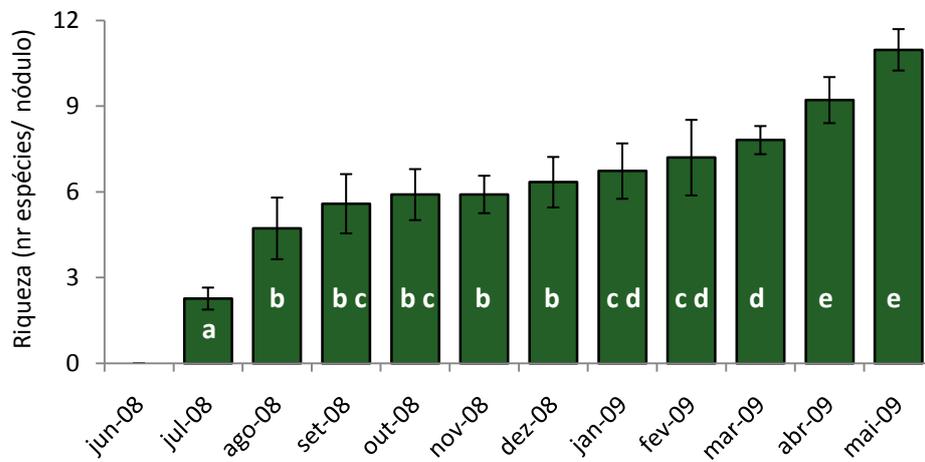


Figura 20. Gráfico da riqueza em espécies encontradas nos substratos artificiais (todos os tratamentos) durante o período de estudos (jun/08 a mai/09), considerando n=45. Letras iguais indicam semelhança estatística

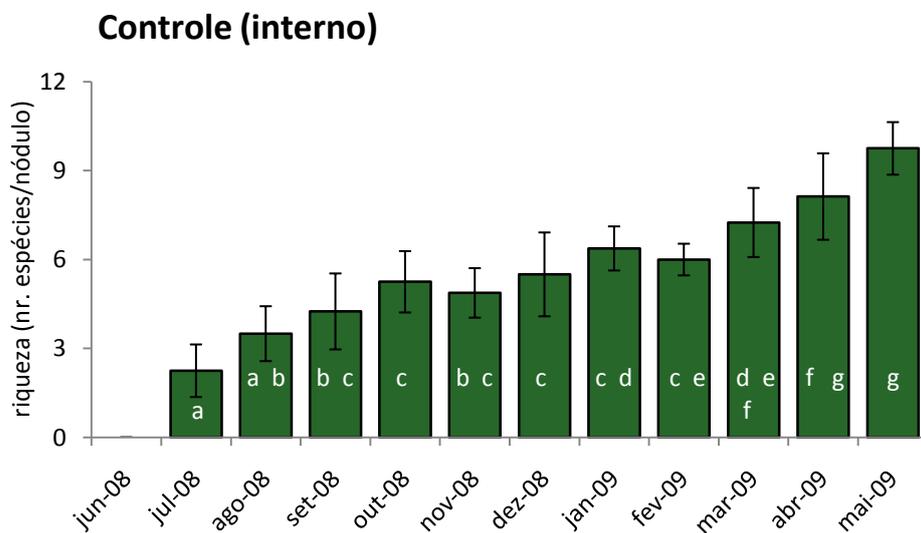


Figura 21. Gráfico da riqueza em espécies encontradas nos substratos artificiais durante o período de estudos (jun/08 a mai/09), no tratamento Controle interno n=9. Letras iguais indicam semelhança estatística.

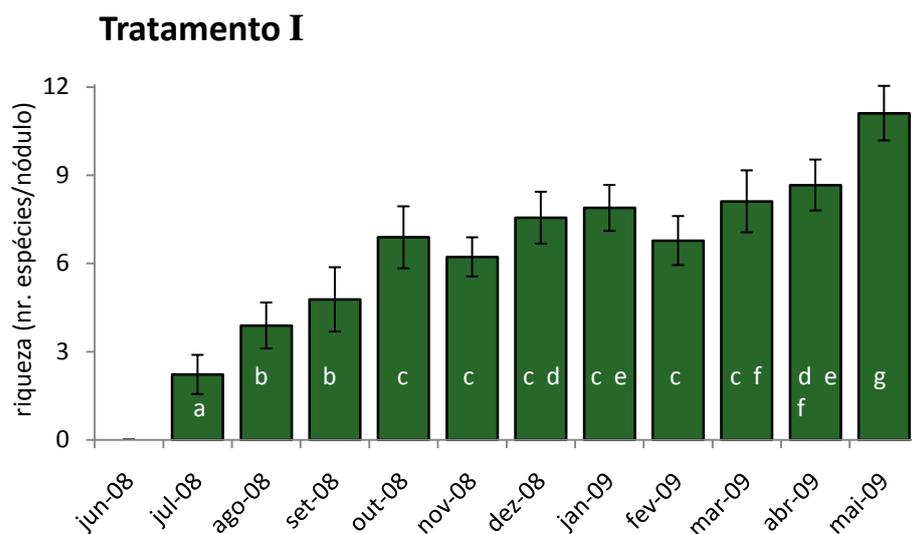


Figura 22. Gráfico da riqueza de espécies encontradas nos nódulos artificiais durante o período de estudos, no tratamento I; n=9. Letras iguais indicam semelhança estatística.

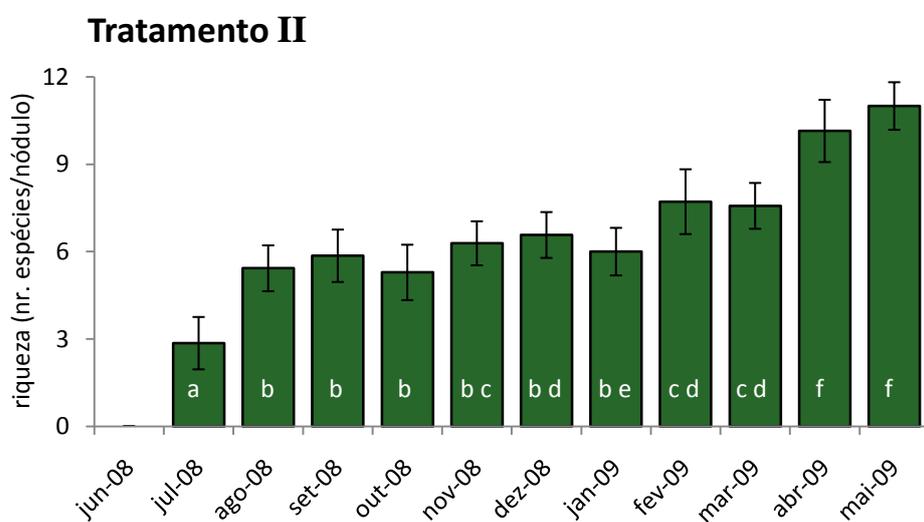


Figura 23. Gráfico da riqueza de espécies encontradas nos nódulos artificiais durante o período de estudos, no tratamento II; n=9. Letras iguais indicam semelhança estatística.

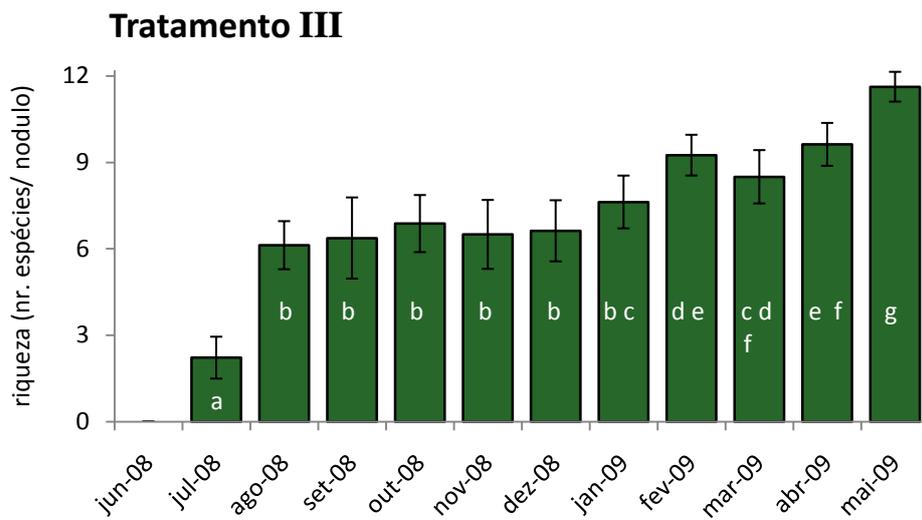


Figura 24. Gráfico da riqueza de espécies encontradas nos nódulos artificiais durante o período de estudos, no tratamento III; n=9. Letras iguais indicam semelhança estatística.

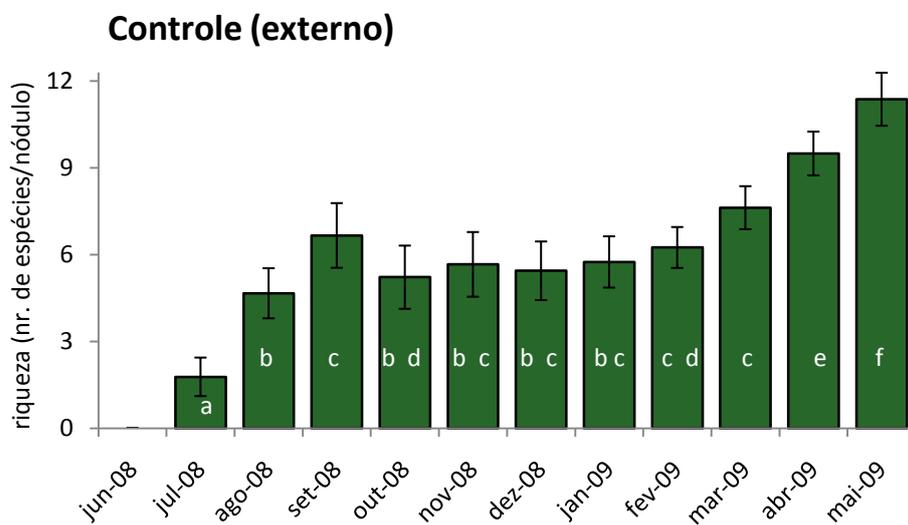


Figura 25. Gráfico da riqueza de espécies encontradas nos substratos artificiais durante o período de estudos (jun/08 a mai/09), no tratamento Controle externo; n=9. Letras iguais indicam semelhança estatística.

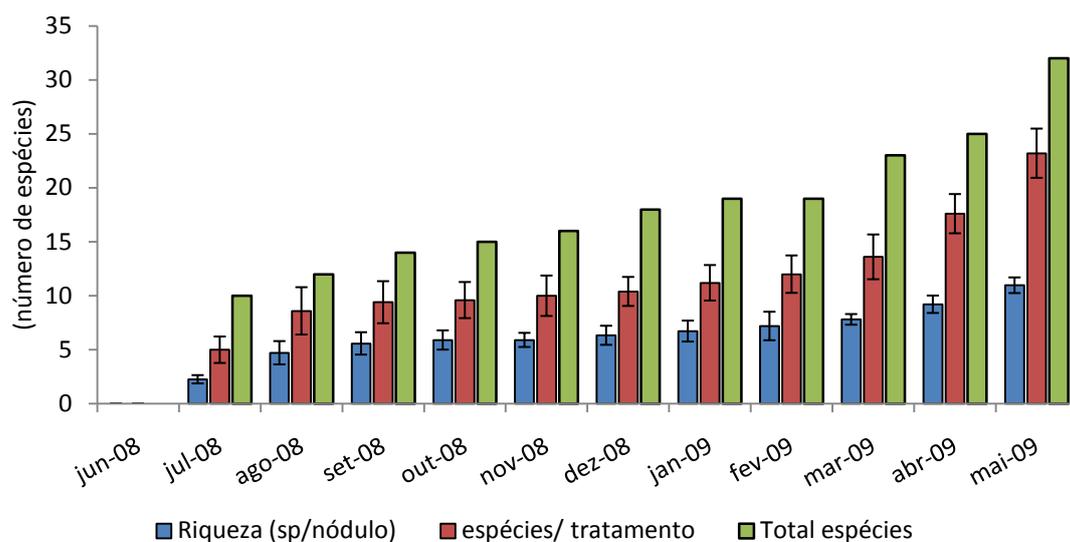


Figura 26. Gráfico da comparação entre a Riqueza de espécies por nódulo, por tratamento) e o número total de espécies por mês. Durante as 12 etapas de monitoramento (jun/08 a mai/09)

Um total de 35 espécies de macroalgas, listadas acima, colonizou o sistema formado pelos nódulos artificiais implantados, incluindo *G. caudata*, apesar de a sua colonização ter ocorrido *in door*. Além destas espécies, diversos invertebrados bênticos também se fixaram ao sistema, mas não foram considerados na presente análise. A colonização dos nódulos foi monitorada através dos dados de freqüência com base na presença/ausência das espécies nos nódulos/tratamento/mês. Os dados brutos podem ser acessados na Tabela 2.

Com base nestes dados as espécies de macroalgas foram divididas em quatro grupos: 1. As espécies que iniciaram o processo de colonização estando, presentes nos nódulos a partir do mês de julho-ago/08 e que permaneceram até a retirada dos substratos em mai/09; 2. As Espécies que iniciaram o processo de colonização semelhante ao grupo anterior, mas não persistiram nos nódulos artificiais durante todo o experimento. 3. As espécies que flutuaram durante o período do experimento e; 4. As espécies que ocorreram a partir dos seis meses do experimento até próximo do final (Tabela 3.)

Tabela 2. Frequência de ocorrência das espécies nos substratos artificiais, durante o período de junho/2008 e abril/2009

	jun-08	jul-08	ago-08	set-09	out-08	nov-08	dez-08	jan-09	fev-09	mar-09	abr-09
<i>Peyssonelia</i>	0	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<i>Gracilaria domingensis</i>	0	2,22	42,86	67,61	78,04	79,11	84,11	91,43	90,46	92,07	94,29
<i>Gracilaria cervicornis</i>	0	4,44	21,10	40,00	71,25	78,85	81,35	79,11	89,56	97,14	92,78
<i>Dictyopteria delicatula</i>	0	18,57	36,33	33,27	44,50	64,36	57,22	56,71	66,79	68,32	80,18
<i>Gracilaria caudata</i>	40	34,27	52,50	52,50	55,00	52,50	52,50	55,00	55,00	55,00	52,50
<i>Hypnea musciformis</i>	0	5,00	34,12	54,98	36,51	47,84	53,32	71,43	72,70	42,78	74,29
<i>Padina sanctae-crucis</i>	0	2,86	10,08	9,60	16,38	10,00	16,66	26,07	26,07	36,46	55,11
<i>Dictyota cervicornis</i>	0	9,80	31,23	15,36	12,02	13,21	15,51	17,50	26,79	8,57	19,87
<i>Gracilaria cuneata</i>	0	0	12,22	7,22	9,72	11,94	9,44	16,94	25,08	40,49	39,87
<i>Gracilaria mammillaris</i>	0	0	0	18,60	10,00	7,50	17,22	31,38	49,24	51,74	47,02
<i>Ulva lactuca</i>	0	2,86	24,67	41,77	39,95	42,17	37,46	25,54	10,00	2,50	0
<i>Lobophora variegata</i>	0	0	0	8,21	13,21	18,02	15,49	9,44	18,01	17,93	22,65
<i>Cryptonemia crenulata</i>	0	0	0	0	5,00	5,00	7,50	2,50	5,00	2,50	2,50
<i>Chaetomorpha sp</i>	0	38,55	61,77	64,27	57,71	23,68	21,1	12,5	0	0	0
<i>Solieria filiformis</i>	0	0	22,73	35,11	23,88	12,50	0	0	20,00	22,50	49,29
<i>Bryopsis pennata</i>	0	0	0	0	0	4,44	36,61	50,67	41,10	31,66	15,36
<i>Sargassum sp.</i>	0	0	0	0	0	0	2,50	2,50	18,21	25,51	55,79
<i>Gelidium sp</i>	0	0	0	0	0	0	2,22	4,72	2,22	10,43	13,29
<i>Gelidiella acerosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	8,57	11,07	13,29	25,23
<i>Bryothamnion seaforthii</i>	0	0	0	0	0	0	0	2,5	2,5	4,72	10,43
<i>Amphiroa sp</i>	0	0	0	0	0	0	2,5	0	0	2,5	2,50
<i>Neomeris anulata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	15,43
<i>Caulerpa mexicana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,42	2,22
<i>Spatoglossum schroederi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,22	4,72
<i>Laurencia sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,93
<i>Jania sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,50
<i>Dictyota dichotoma</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,86
<i>Ceramium sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Champia sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ernodesmis sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hypnea cervicornis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Hypnea spinella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Enantiocladia sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Phyllocladon sp.</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Haloplegma duperreyi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de espécies	1	10	12	14	15	16	18	19	19	23	25

Existe um conjunto de espécies que foram observadas apenas no último mês dos experimentos, quando o substrato foi raspado para a medida da biomassa. Porém optamos por não incluí-las em nenhum grupo, por não conseguirmos determinar o período da sua colonização no sistema, a Figura 27 mostra um conjunto de fotografias dos substratos artificiais ao final dos experimentos.

Tabela. 3. Lista das espécies distribuídas nos grupos em função do processo de colonização.

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Perenes/iniciais	efêmeras	Flutuantes	Perenes/final
<i>Peyssonelia sp</i>	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Solieria tenera</i>	<i>Cryptonemia crenulata</i>
<i>G. domingensis</i>	<i>Chaetomorpha sp</i>	<i>Bryopsis pennata</i>	<i>Sargassum sp.</i>
<i>G. cervicornis</i>			<i>Gelidium sp</i>
<i>D. delicatula</i>			<i>Gelidiella acerosa</i>
<i>Gracilaria caudata</i>			<i>Bryothamnion seaforthii</i>
<i>Hypnea musciformis</i>			<i>Amphiroa sp</i>
<i>P. sanctae-crucis</i>			<i>Neomeris anulata</i>
<i>Dictyota cervicornis</i>			<i>Caulerpa mexicana</i>
<i>G. cuneata</i>			<i>Spatoglossum schroederi</i>
<i>G. mammillaris</i>			<i>Laurencia sp</i>
<i>Lobophora variegata</i>			<i>Jania sp</i>



Figura 27. Fotografia dos substratos artificiais ao final dos experimentos (mai/09). **a e b** (tratamento I); **c e d** (controle); **e e f** (substratos após raspagem no final do experimento); **g e h** (tratamentos II e III respectivamente).

6. DISCUSSÃO

6.1. Efeitos da temperatura, salinidade e irradiância sobre a germinação de carpósporos e desenvolvimento inicial de *Gracilaria caudata*

No padrão de germinação tipo *dumontia* apresentado, destacam-se as fusões de discos basais de diversos eixos eretos bastante próximos. Este fato pode explicar o aparecimento de mosaicos genéticos que Kain & Destombe (1995) chamaram de quimeras, na qual a fusão dos discos pode originar sistemas genéticos complexos com genótipos distintos em um mesmo talo. Plastino et al.(1999) verificaram a formação de mosaico sexual devido a germinação de tetrásporos *in situ*, com o desenvolvimento de gametófitos no mesmo talo de uma planta tetrasporófitica. Outro fator que poderá explicar a presença destas quimeras é a germinação de carpósporos no interior do próprio cistocarpo, dando origem a um sistema no qual uma alga feminina (haplóide) atua como suporte para uma planta tetraspórica (diplóide) (Fig. 6).

O efeito da irradiância sobre a germinação dos carpósporos e o desenvolvimento inicial das plântulas indicou diferenças significativas entre quase todos os tratamentos, entretanto as densidades de fluxo fotônico (DFF) utilizadas não chegaram a inviabilizar o desenvolvimento em nenhuma das faixas estabelecidas. Uma elevada correlação ($r = 0,98$) entre o crescimento das plântulas e o aumento da DFF reforça o fato de não ter sido atingido os limites de tolerância superior desta alga. Por outro lado, a não inibição da germinação sob baixos valores de DFF demonstra a habilidade desta alga para sobreviver em ambientes com pouca luz, fator que já foi citado por Plastino & Oliveira (1997), ao indicar a presença comum desta espécie em águas turvas ou a habilidade desta espécie crescer parcialmente soterrada na areia.

Considerando os resultados obtidos para incorporação destas técnicas em programas de aquicultura a partir de carpósporos, sugere-se que, durante a primeira semana de desenvolvimento, a DFF do sistema seja mantida em torno de $100 \mu\text{mol de fótons m}^{-2}\text{s}^{-1}$, visto que, acima deste valor, diferenças significativas na formação do disco basal não foram detectadas. A partir da segunda semana de desenvolvimento, uma elevação para valores em torno de

200 μmol de fótons $\cdot\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ou superior é desejável para promover um aumento significativo no crescimento do eixo ereto.

A salinidade apresentou amplos limites de tolerância, de 15 ups a 45 ups, com ótimos de crescimento em 35 ups. Estes valores são compatíveis com o descrito por Bird & McLachlan (1986) que demonstraram o caráter eurihalino para o gênero *Gracilaria* e coincidem com os normalmente encontrados na região de origem da população estudada, cuja salinidade é predominantemente em torno de 36 ups, exceto no período de chuva quando pode baixar para 20 ups (Silva et al., 1987). Estes limites de tolerância e ótimos de crescimento, quando comparados aos obtidos por Yokoya & Oliveira (1993) para o desenvolvimento de carpósporos da mesma espécie de populações distintas, apresentaram discretas diferenças, principalmente no limite inferior, próximo a 20 ups e no crescimento máximo, próximo a 25 ups. Uma hipótese é que as populações estejam localmente adaptadas, mostrando limites e ótimos de crescimento distintos para a salinidade, constituindo ecótipos *sensu* Odum (1988).

A formação do disco basal parece ter sido menos afetada pela variação da salinidade do que a formação do eixo ereto. Isto pode ser interpretado a partir de duas observações: a primeira é pelo fato de que na salinidade de 15 ups o desenvolvimento do eixo ereto foi interrompido, apesar do disco basal ter se formado, e a segunda é devido a não existência de diferenças significativas no crescimento do disco basal entre os tratamentos de 25 ups, 35 ups e 45 ups. Este fato é o inverso do esperado pela teoria dos fatores limitantes descrita por Odum (1988), que estabelece menores amplitudes de tolerância por parte das fases iniciais do desenvolvimento para qualquer organismo em geral.

Em relação à temperatura os resultados obtidos divergem dos encontrados por Yokoya & Oliveira (1993) e Macchiavello et al. (1998) para esta espécie. Estes autores apontaram um crescimento ótimo a temperaturas em torno de 30°C e no presente trabalho, o ótimo obtido se encontra em torno de 25°C. Temperaturas de 20°C e 30°C apresentaram valores sub-ótimos e não foram significativamente distintas entre si. Em relação ao limite superior letal,

nosso estudo indicou valores em torno de 35°C, próximo ao indicado por Macchiavello et al.(1998) de 32,8°C. O limite inferior não foi atingido pelo gradiente proposto no presente trabalho mas está de acordo com a literatura e se encontra em torno de 13,8°C a 14°C, segundo Yokoya & Oliveira (1993) e Macchiavello et al (1998,) respectivamente.

No Brasil, *Gracilaria caudata* apresenta uma distribuição geográfica ampla, porém restrita às águas tropicais a subtropicais (Joly et al., 1963; Oliveira Filho, 1977; Silva et al., 1987; Plastino & Oliveira, 1997; Macchiavello et al., 1998; Oliveira et al, 1998; Chow et al., 2007). A temperatura ótima de crescimento, estabelecida no presente trabalho, levanta a possibilidade de que a população estudada está localmente adaptada, o que explicaria a divergência encontrada entre os autores. Entretanto, não podemos descartar a possibilidade do deslocamento do ótimo ecológico para o crescimento de algas, em função da interação entre fatores ambientais ou fatores físicos conjugados como temperatura, DFF e salinidade, conforme preconiza Odum (1988) e está bem demonstrado por Paula (1994) e Macchiavello et al. (1998). A temperatura da água do mar em Itamaracá (PE), de acordo com Silva et al. (1987), oscila entre 24°C e 29°C, com média em torno de 26°C durante o ano, reforçando a hipótese da adaptação local desta população.

Para o desenvolvimento de técnicas de cultivo de *G. caudata*, recomenda-se evitar generalizações de valores ótimos para germinação e desenvolvimento de carpósporos, que no caso foi estabelecido em torno de 25°C, em função da existência de populações localmente adaptadas, como comentada acima.

É importante observar que a formação do disco basal, logo após a germinação dos carpósporos, não apresentou diferenças significativas entre as temperaturas de 20°C a 30°C. Estas diferenças se tornaram pronunciadas e significativas após o aparecimento do eixo ereto, estabelecendo a mesma contradição em relação aos limites de tolerância preconizados por Odum (1988), discutidos anteriormente.

Os limites de tolerância e ótimos de crescimento, apresentados por *G. caudata* para a irradiância, salinidade e temperatura, são compatíveis com uma

espécie de ampla distribuição geográfica, com ocorrência em mares tropicais e sub-tropicais. Em função da adaptação das populações às condições locais e com base nos dados obtidos, podemos sugerir que as populações de *G. caudata* da Praia de Itamaracá (PE) estão perfeitamente adaptadas às condições presentes na região de ocorrência, sob os aspectos estudados.

Os resultados obtidos no presente trabalho reforçam a importância do conhecimento prévio sobre os limites de tolerância e das condições ótimas para desenvolvimento dos esporos, em relação aos principais fatores físicos, para a implantação de programas de aquicultura, pois a generalização de valores obtidos em estudos com populações de outras regiões podem levar à manutenção dos cultivos em condições não ideais de sua máxima produtividade.

6.2. Monitoramento de longo prazo da biomassa da população de *Gracilaria caudata* na praia de Ponta de Mato, Cabedelo , PB (6°57'35"S 34°49'21"W)

A metodologia utilizada para quantificar e monitorar a população de *G. caudata* permitiu a obtenção de resultados comparáveis espaço temporalmente. A constante modificação nos métodos de coleta entre diversos autores no espaço e no tempo, por vezes, impossibilita a comparação dos resultados, pois as diferenças encontradas em séries temporais podem ser, em alguns casos, explicadas pelo uso de diferentes métodos amostrais.

O fato de o método utilizado no presente trabalho ter sido destrutivo, pois ocorreu o arranque de *G. caudata* para a estimativa do peso seco, poderia interferir nas coletas subseqüentes, em função de algum efeito do arranque das algas, caso os quadrados caíssem exatamente nos mesmos pontos. Entretanto, avaliamos que este efeito foi minimizado em função do erro intrínseco do próprio GPS e de pequenas diferenças no posicionamento da embarcação no momento em que os elementos eram soltos, a partir da proa.

O conjunto de dados com valores de biomassa (g peso seco/m²) para a população estudada, embora não tenham seguido uma periodicidade anual,

uma vez que foram nove etapas em 13 anos, constitui, na prática, a base de dados de biomassa mais completa entre os bancos de algas explorados no país.

A atividade de exploração, realizada a partir de março de 1997, reduziu a biomassa da população de *G. caudata* a valores em torno de 1% da pré-existente. Esta redução foi documentada e quantificada a partir da amostragem realizada logo após as coletas, e mostra a importância de que, em caso de estudo de impactos ambientais, existam dados prévios ao impacto e logo após a ocorrência do mesmo, em um curto intervalo de tempo. Se for considerada a biomassa mínima em torno de 10% a ser mantida para garantir a recuperação da população, como definido por Miranda (2000), pode-se afirmar que houve naquele momento um impacto muito superior a suportada pela população alvo, caracterizando uma sobreexploração.

A redução da biomassa muito acima do suportável pela população, conforme Miranda (2000) pode ter levado a população a não recuperar o status que possuía anteriormente à coleta. Vários fatores poderiam explicar esta dificuldade, entretanto a ausência de propágulos para o restabelecimento da população através de esporos (tetrásporos ou carpósporos) pode ser a maior dificuldade, associada à alteração da relação proporcional entre as fases do ciclo de vida que esta população pode ter a médio e longo prazo, fato que será discutido na sessão a seguir. É importante lembrar que, embora o modo de coleta seja através do arranque manual, o que em teoria possibilitaria a regeneração a partir de partes do talo remanescente no substrato, um fato comum observado é que o arranque é tão vigoroso que, na maioria das vezes retira todo o apressório, inclusive com partes do substrato calcário, o que pode ter inviabilizado a regeneração vegetativa da população.

6.3. Aspectos fenológicos de *G. caudata* em diferentes populações naturais na costa dos estados da Paraíba e de Pernambuco

As proporções das fases do ciclo de vida de *G. caudata* não apresentaram flutuação ao longo dos meses. Outros estudos também demonstraram este padrão para populações de espécies de *Gracilaria* no estado da Paraíba (Miranda, 2000; Araújo, 2005). A estabilidade destas proporções durante o período estudado se manteve independente da proporção de cada uma das fases. Tais variações seriam esperadas nas regiões temperadas, devido à marcadas flutuações climáticas. Mesmo assim, algumas populações de algas encontradas em regiões tropicais e subtropicais podem apresentar sazonalidade quanto às etapas do ciclo reprodutivo (Kain & Destombe, 1995; Oliveira Filho & Sazima, 1973). Por outro lado, o fato de haver uma maior uniformidade na frequência entre as fases do ciclo de vida da planta estudada não significa, necessariamente, ausência de sazonalidade em relação à manifestações fenológicas em geral. Kain & Destombe (1995) e Fierst et al. (2005) consideram o fato de que algumas plantas podem apresentar cistocarpo o ano todo, embora a liberação de esporos possa estar restrita a apenas alguns meses. Vasquez & Vega (2001) documentaram forte variação na produção e liberação de esporos, apesar das algas estudadas se manterem férteis durante todo o ano. Oliveira Filho & Sazima (1973) já haviam chegado a esta mesma conclusão e apontam também a possibilidade da sobrevivência destes esporos ser diferente ao longo do ano.

A população de *G. caudata* presente em Carapibus (PB), por apresentar uma característica bastante distinta, destacou-se das demais em função do elevado índice de “quimeras”, nas quais as algas apresentaram no mesmo talo partes masculinas, femininas e tetráspóricas. Este é um fenômeno já descrito por Kain & Destombe (1995), mas que não é comum, sobretudo em uma proporção tão elevada. Embora estudos anatômicos e citológicos não tenham sido realizados nestas algas, a nossa hipótese é que se trate da germinação *in situ* de tetrásporos que originaram algas haplóides na proporção esperada 1:1, entre plantas masculinas e femininas.

Polifrone et al. (2006) indicam que a germinação *in situ* de tetrásporos ocorre como uma estratégia reprodutiva, o que parece ser o caso, pois a população de Carapibus (PB), que apresentou tais características, ocorre em poças de maré submetidas a condições de hidrodinamismo e temperatura, bastante diverso das demais populações estudadas.

A forte e constante presença de plantas não férteis, encontradas nas populações de Cabedelo (PB) e Ponta de Pedras (PE), sendo inclusive superior a todas as outras fases, contrasta com as populações de Itamaracá (PE) e Carapibus (PB) que apresentaram baixos valores para indivíduos não férteis. Nos estudos realizados por Miranda (2000) para a mesma população de Cabedelo (PB) estudada entre os anos de 1996 e 1997, e Araújo (2005), para uma população de *Gracilaria birdiae* Plastino & Oliveira em uma Área de Proteção Ambiental no litoral norte do estado da Paraíba, poucas plantas não férteis foram encontradas e este parece ser o padrão esperado para populações naturais de *Gracilaria* nesta região.

A predominância de algas tetráspóricas em populações de *G. caudata* é uma característica comum entre vários estudos realizados no nordeste do Brasil, Pinheiro-Joventino & Bezerra (1980), Guimarães et al. (1999) que obtiveram resultados semelhantes, trabalhando com populações naturais de *G. domingensis* (Kützinger) Sonder ex Dickie no litoral do estado do Ceará. Miranda (2000) obteve o mesmo padrão fenológico para a população de *G. caudata* em Cabedelo (PB) e Araújo (2004) para uma população de *G. birdiae* no litoral norte do estado da Paraíba. O predomínio de plantas tetráspóricas em várias populações naturais estudadas já havia sido verificado por Kain & Destombe (1995), em uma revisão sobre os aspectos reprodutivos de *Gracilaria*. Destombe et al. (1989) sugerem que as plantas diplóides possuem vantagens em relação às outras fases, por exemplo nas taxas de sobrevivência e regeneração, o que explicaria a predominância de plantas tetráspóricas, entretanto Fierst et al. (2005) apontam que outros fatores, como diferenças na produção de esporos ou na taxa de fertilização, podem ser a fonte desta variação.

A proporção entre o número de plantas masculinas e femininas (cistocárpicas) também não correspondeu à esperada (1:1). O fato das últimas apresentarem uma superioridade em relação às primeiras, não possui uma explicação muito clara. Pinheiro-Joventino & Bezerra (1980) encontraram este mesmo padrão para *G. domingensis*, enquanto Guimarães et al. (1999) observaram proporções equivalentes (1:1), ao estudarem uma população da mesma espécie também no litoral do Ceará, com exceção de mutantes pigmentares verdes. Miranda (2000) encontrou o mesmo desequilíbrio, com maior proporção de plantas femininas, e argumentou que a frequência de algas não férteis não poderia explicar o fato.

Kain & Destombe (1995) atribuem algumas das diferenças na frequência de gametófitos masculinos e femininos ao elevado número de plantas não férteis, alegando haver uma maior dificuldade no reconhecimento de plantas masculinas. Nas populações estudadas, apenas a de Carapibus (PB) mostrou claramente uma relação 1:1 entre plantas masculinas e femininas (cistocárpicas), em parte explicado pelo elevado número de “quimeras”. As demais populações, em função do número de plantas não férteis, não nos permite afirmar que a ausência de equilíbrio entre estas fases seja real.

Romo et al. (1979) relacionaram a presença de todas as etapas do ciclo de vida trifásico de algumas algas vermelhas à fixação da alga a um substrato rochoso, enquanto que a reprodução vegetativa, através de fragmentação e regeneração, estaria relacionada a um substrato areno-lodoso, o que não se verifica no caso da espécie aqui estudada, a qual só é encontrada fixa em substrato consolidado, embora possa ser parcialmente enterrada, temporariamente, por deposição de sedimento. Porém, o tipo de substrato parece influenciar muito o ciclo de vida destas plantas. Kain & Destombe (1995) também reconhecem a importância do habitat na reprodução. Estes dados nos levam a acreditar que as populações estudadas possuem na reprodução através de esporos seu principal mecanismo de propagação e renovação dos efetivos.

Segundo Souza (1980), populações de algas submetidas a impactos, possuem maior eficiência na recuperação, quando esta ocorre

vegetativamente. Ainda de acordo com o mesmo autor, a retirada de todos, ou da maioria, dos indivíduos de uma população que se reproduz principalmente através de esporos, poderá levá-la a uma recuperação muito demorada, o que pode ter acontecido com a população de Cabedelo (PB), após forte exploração em 1997. Miranda (2000) já advertia que a definição do estoque mínimo deveria levar em consideração, não apenas a cobertura vegetal, mas a qualidade desta cobertura, quanto à fertilidade da população.

Na análise comparativa entre a população de *G. caudata* de Cabedelo (PB), estudada no presente trabalho, e os dados para a mesma população, obtidos no período de 1996/1997 (Miranda, 2000), claramente observa-se uma redução de todas as fases férteis, em detrimento do aumento substancial de indivíduos não férteis. A mudança ocorrida na proporcionalidade entre as fases do ciclo de vida da população de Cabedelo (PB) (Miranda, 2000) e o presente estudo é uma indicação de que o impacto ambiental pode levar à ausência dos propágulos reprodutivos, (carpósporos ou tetrásporos), ocasionando dificuldades na recolonização do substrato

A análise de similaridade entre as populações estudadas, incluindo dados pretéritos das populações estudadas por Miranda (2000), demonstrou claramente um padrão relacionando populações submetidas à exploração ao aumento de plantas não férteis. Por outro lado, a população relativamente preservada, presente em Itamaracá (PE), relacionou-se à população de Cabedelo (PB), antes do seu declínio em 1997, conforme discutido anteriormente, apresentando mais de 85% de plantas férteis. Pode-se concluir, portanto, que a disponibilidade de esporos para colonização do substrato disponível, em função da retirada da biomassa pela exploração de *G. caudata*, está fortemente impactada pela ausência de algas férteis.

6.4. Desenvolvimento de técnicas de recuperação de populações de *Gracilaria caudata* degradadas pela exploração comercial

O substrato artificial desenvolvido a partir de um nódulo de alga calcária, confeccionado em um molde de areia, apresentou uma textura bastante favorável à colonização por macroalgas bênticas. A sua rugosidade facilitou a fixação de esporos de algas e outros organismos bênticos. Este fato pode ser comprovado pelo total de 35 espécies de macroalgas que colonizaram e se desenvolveram nos substratos, no período de um ano (2007/2008). As espécies que colonizaram o referido substrato, o fizeram através de esporos ou, no caso de algumas epífitas, através da fixação de partes de talos nas algas “hospedeiras”, como foi o caso de alguns indivíduos de *Hypnea* J.V. Lamour, *Dictyota* J.V. Lamour e *Dictyopteris* J.V. Lamour que se fixaram sobre várias espécies de algas, tais como *G. domingensis* e *G. cervicornis* (Turner) J. Agardh, por exemplo.

O substrato se mostrou bastante estável, física e quimicamente, e considerando o elevado número de espécies que o colonizaram, supõe-se apresentar baixa toxicidade. Por outro lado a incrustação por rodofíceas como foi o caso de *Peyssonellia* sp e outros organismos tornam o substrato mimético com o substrato natural, não provocando nenhum efeito de modificação da paisagem.

A estratégia de recuperar uma população natural de algas a partir da esporulação em substratos é semelhante à utilizada por alguns aqüicultores para cultivo em mar aberto (Glenn et al., 1998; Alveal et al. 1997; Alveal et al., 1994; Critchley, 1993; Fei & Huang, 1991; Halling et al., 2005). No presente estudo, entretanto, o transplante para o sistema natural se deu em menos de 5 dias e isto não permitiu qualquer tipo de dominância *a priori* por parte de *G. caudata*, uma vez, que no momento da transferência para o mar, as plântulas sequer eram visíveis.

A comparação entre os três métodos para a colonização dos nódulos artificiais com *G. caudata*, seja através da análise do peso seco ou pela frequência de ocorrência, denotou a vantagem do método da fixação de carpósporos sobre os nódulos, com subsequente transplante dos substratos

para o mar, sobre os métodos de fixação de plantas adultas férteis (cistocárpicas e tetraspóricas) sobre os nódulos. Isto pode ser explicado por três motivos: Primeiro, a densidade de cistocarpos utilizada no sistema para liberação de esporos foi maior que a densidade presente nas plantas cistocárpicas fixadas ao substrato. Segundo, no caso das plantas tetraspóricas, a liberação dos tetrásporos não ocorre de forma tão abundante quanto as primeiras (Fierst et al.2005), isto se traduziu em uma menor liberação e fixação dos tetrásporos, com redução da eficiência deste modelo. Por último, no transplante de plantas adultas, a fixação das algas não passou de 60 dias e todas as algas implantadas foram removidas, seja por efeito mecânico ligado ao hidrodinamismo, seja pela herbivoria. Ressalte-se que nos tratamentos II e III a presença de *G. caudata* durante todo o experimento, deveu-se não à persistência dos implantes de algas adultas, mas ao desenvolvimento de plântulas através de esporos, provavelmente originadas das plantas mães inicialmente fixadas nos nódulos.

Outro fator de extrema importância e que corrobora a interpretação de que o tratamento I (fixação de carpósporos) foi o mais eficaz na recuperação ambiental é o fato de que, após sete meses, algumas plantas já estavam férteis (tetraspóricas) e ao final dos experimentos todas as plantas dos tratamentos I e II apresentavam tetrásporos. No tratamento III, que utilizou plantas tetraspóricas, os indivíduos de *G. caudata*, ao final dos experimentos, não se encontravam férteis. A fertilidade da população é essencial, quando se trata de recuperação de populações em risco, pois garante autonomia e sustentabilidade à população (Alveal, 1995).

Considerando que os tratamentos “controle” não apresentaram colonização por parte de *G. caudata*, pode-se inferir que a disponibilidade de esporos desta espécie no banco de algas, sejam tetrásporos ou carpósporos, se existir, é muito baixa. Isto poderia explicar a não recuperação desta população após a exploração realizada em 1997. Poderíamos concluir, então, que a retirada da biomassa nos volumes observados, pode ter causado um forte impacto na capacidade reprodutiva da população, resultando na redução da disponibilidade de esporos,

essenciais para a recuperação da mesma, por isso, a retirada de biomassa, por si só, não explica necessariamente a não recuperação desta população. Esta retirada causou efeitos reprodutivos negativos de longa duração ou mesmo permanentes, e de acordo com Fierls et al. (2005), afetar inclusive a relação entre plantas haplóides e diplóides reduzindo as taxas de fecundidade.

Os planos de manejo de espécies exploradas comercialmente, na sua grande maioria, levam em consideração, não apenas o estoque propriamente dito, mas também os aspectos reprodutivos associados às mesmas (Alveal, 1995). No caso da população de *G. caudata*, a “saúde” reprodutiva dessa população depende da manutenção da capacidade da mesma em disponibilizar propágulos reprodutivos para o meio. Fato que não está ocorrendo na região de Cabedelo /João Pessoa (PB), principalmente quando avaliamos o grande número de plantas não férteis presentes na população remanescente e a completa ausência de colonização por esta espécie nos substratos artificiais do tratamento controle.

A riqueza em número de espécies de macroalgas nos nódulos apresentou um padrão dentro daquilo que é esperado com o aumento gradativo conforme o “amadurecimento” das estruturas. Este padrão é bastante recorrente na literatura (Thomsen et al., 2010; Ohno et al., 1990; Choi et al., 2006; Eston & Bussab, 1990; Paula & Eston, 1989; Connel, 1977; Murray & Littler, 1978; Emerson & Zedler, 1978). Um total de cerca de 35 espécies de macroalgas foram identificadas nos nódulos até o final do experimento, com uma riqueza média por nódulo de aproximadamente 11 e este número pode ser comparado aos dados de Miranda (2000), que encontrou, na mesma região, valores similares, oscilando entre 8,6 e 14,2 espécies por elemento amostral de 0,25 cm². É importante ressaltar que os substratos utilizados possuem aproximadamente 0,02 m², portanto várias vezes menores que a área estudada por aquele autor. Embora os diversos tratamentos, excetuando-se o controle, tenham *a priori* colonizado os substratos com *G. caudata*, a riqueza não foi afetada por esta colonização direcionada. Este tipo de direcionamento corresponde ao que Terawaki et al.

(2001) sugerem, quando se deseja acelerar a recuperação e o crescimento de uma dada área ou espécie.

A sucessão ocorrida entre as espécies nos nódulos não foi afetada pelos diferentes tratamentos, e o padrão de colonização e sucessão se repetiu em todos os substratos artificiais, ou seja o curso da colonização e sucessão não foi guiado pelos tratamentos, a presença de *G. caudata* em alguns nódulos não inibiu ou estimulou estes processos. Considerando os resultados de presença e ausência, é possível perceber que a grande maioria das espécies colonizou os nódulos artificiais de forma perene e faz parte da composição do entorno. Apenas duas espécies podem ser consideradas “pioneiras” clássicas (*sensu* Connel, 1977), *Ulva lactuca* L e *Chaetomorpha* sp, pois ocorreram no início do processo, desaparecendo em seguida, outros autores também indicaram estas espécies como colonizadoras iniciais ou oportunistas (Murray & Littler, 1978; Eston & Bussab, 1990; Choi et al., 2006). Ainda assim a ausência de uma série temporal não nos permite afirmar se estas espécies foram realmente pioneiras ou se tiveram um comportamento sazonal, cujos fatores podem afetar toda a sucessão (Emerson & Zedler, 1978; Choi et al., 2006; Eston & Bussab, 1990).

O padrão de sucessão foi provavelmente direcionado pelo entorno. Diversos autores indicam que, quando a sucessão ocorre em pequenas áreas, a comunidade do entorno pode determinar o processo ou mesmo, em alguns casos, esta pode sequer ocorrer (Connel & Slatyer, 1977; Murray & Littler, 1978). No presente estudo, é mais provável que o sistema tenha sido colonizado de forma perene e crescente e as flutuações seriam consequência de flutuação natural de cada espécie.

Os nódulos artificiais confeccionados no presente estudo, demonstraram grande capacidade para serem colonizados por um elevado número de espécies, sendo que a colonização direcionada de *G. caudata* mostrou ser possível a reintrodução de espécies que foram sobreexploradas, sem causar novos impactos, uma vez que a comunidade de macroalgas nas

regiões impactadas já se restabeleceu, na ausência da espécie alvo, ocupando os espaços anteriormente habitados pela espécie explorada. Pode-se dizer, então, que está havendo um enriquecimento de espécies na área degradada pela sobreexploração. É possível que, a longo prazo, um novo equilíbrio restaure o sistema e conduza a espécie ao status anterior, ou direcione a um outro ponto de estabilidade no qual a presença de *G. caudata* seja comum. Múltiplos ou alternativos pontos de estabilidade na sucessão, já foram descritos por Sutherland (1974) e Petraits et al.(2005), e uma recuperação agressiva, poderia ser considerada como um novo impacto, ainda que o objetivo fosse o de retornar às condições pré-existentes.

Este mesmo método pode ser utilizado para recuperar áreas degradadas por impactos agudos Nesta hipótese, nódulos artificiais seriam colonizados em regiões ambientalmente similares àquela impactada, para, posteriormente à colonização, serem transplantadas para as áreas impactadas. Nesse caso, não haveria a necessidade de um direcionamento na colonização, o que seria importante apenas nos casos de se pretender recuperar populações específicas.

O tipo de estratégia a ser utilizado para recuperar determinada população ou comunidade, varia em função de diversos fatores ligados a reprodução da espécie ou fatores ambientais diversos. Neste aspecto Terawaki et al. (2001), Terawaki et al. (2003) e Largo & Ohno (1993) descrevem diversas técnicas e métodos para recuperar populações e comunidades. Não havendo, desta forma, um método “definitivo”, o tipo de estratégia, aqui definido, tem características aplicáveis a estas condições.

7. CONCLUSÕES

1. A germinação de carpósporos de *G. caudata* correspondeu ao tipo “*dumontia*”, destacando-se a presença de fusões de discos basais e a germinação in situ de carpósporos sobre o cistocarpo.
2. A irradiância de 100 μmol de fótons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ foi considerada ótima para o desenvolvimento dos discos germinativos. Podendo ser estabelecida como padrão no caso de programas de cultivo ou recuperação ambiental, já as plântulas não foram limitadas ou inibidas mesmos nos maiores valores testados (200 de fótons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$).
3. A salinidade de 35 ups foi considerada ótima, para o desenvolvimento dos discos germinativos e crescimento das plântulas originadas de carpósporos. Os limites de tolerância foram estabelecidos entre 15 e 45 ups.
4. A temperatura ótima para o crescimento de plântulas originadas de carpósporos foi de 25°C; temperaturas entre 20°C e 30°C estão dentro dos limites de tolerância, enquanto que temperaturas de 35°C foram letais.
5. A atividade de exploração ocorrida entre abril e maio de 1997, sobre a população de *G. caudata* na praia de Ponta de Mato (PB), foi responsável pela redução da biomassa a valores abaixo de 1% da pré-existente, não tendo recuperado desde então, sendo o caso de sobreexploração mais bem documentado sobre populações algais do Brasil.
6. A análise das proporções das fases dos ciclos de vida de *G. caudata*, nas populações estudadas, sugere existir uma relação direta entre o aumento da proporção de plantas não férteis e o nível de impacto da atividade de exploração. Isto explicaria a dificuldade para a recuperação

da população de Cabedelo (PB), em função da ausência de propágulos disponíveis para a recolonização natural do sistema.

7. As populações naturais de *G. caudata* não impactadas pela atividade de exploração nas praias de Cabedelo (1996/1997) e Ilha de Itamaracá apresentaram predomínio de algas tetraspóricas sobre as demais, o número de plantas cistocárpicas supera as plantas masculinas e as plantas não férteis representam menos de 5% do total.
8. A fixação de carpósporos em substratos artificiais, seguido do transplante ao ambiente marinho degradado, demonstrou ser a técnica mais eficiente para a recolonização de *G. caudata*.
9. Os substratos artificiais foram rapidamente colonizados pela comunidade de macroalgas bênticas do entorno, ficando evidenciado, mais uma vez, a ausência de propágulos de *G. caudata* no sistema, que não foram encontrados em nenhum dos controles estabelecidos.
10. A utilização de substratos artificiais com material granuloso e formato similar e mimético a nódulos de algas calcárias, pode ser útil na recuperação de comunidades de macroorganismos bênticos, através do transplante de substratos colonizados, às áreas degradadas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alveal, K., 1995. Manejo de algas marinas. In: *Manual de Métodos Ficológicos*. K. Alveal, M. E. Ferrario, E. C. Oliveira & E. Sar (eds.). Universidad de Concepción, Concepción - Chile, pp. 825-863.
- Alveal, K.; Romo, H.; Werlinger, C & Nuñez, M. 1994. Uso de esporas como alternativa de propagação masiva de macroalgas - Spore employment, na alternative masive spreading of seaweeds. Ser. Cienc. Mar. 3: 77-87.
- Alveal, K.; Romo, H.; Werlinger, C., & Oliveira, E.C. 1997. Mass cultivation of the agar producing alga *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta) from spores. *Aquaculture*, 148: 77-93.
- Araújo, P. G. 2005 . Ecologia populacional de *Gracilaria birdiae* (Gracilariales, Rhodophyta) na Área de Proteção Ambiental Barra do Rio Mamanguape. Dissertação de mestrado. PPGO/Universidade Federal de Pernambuco
- Araújo, P. G.; Miranda, G. E. C.; Kanagawa, A.I. Repartição espacial da comunidade macrobêntica dos recifes da APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.. *Revista Nordestina de Biologia*, João Pessoa -Paraíba, v. 19, n. 2, p. 29-50, 2008.
- Atlas Geográfico da Paraíba, 1985. Universidade Federal da Paraíba.. UFPB/Dept. de Geociências. Editora Universitária, 120p.
- Bird, C. J. & McLachlan, J. 1986. The effect of Salinity on Distribution of Species of *Gracilaria* Grev. (Rhodophyta, Gracilariales): An Experimental Assessment. *Botanica Marina* 29: 231-238.
- Bird, N.; McLachlan, J. & Grund, D. 1977. Studies on *Gracilaria*.5. In vitro life history of *Gracilaria* sp. from the Maritime Provinces. *Can.J.Bot.*, 55: 1282-1290.
- Brinkhuis, Boudewijn H.1986. Growth patterns and rates. In: ***Handbook of Phycological Methods: Ecological Field Methods: Macroalgae***.(Mark Littler & Diane Littler.eds) Cambridge: Cambridge Press. pp 461-477.
- Carvalho, F. de A. F. de, 1983. *Bionomia bêntica do complexo recifal no litoral do Estado da Paraíba, com ênfase nas macrófitas*. Tese (doutorado) .

- Instituto de Oceanográfico – Universidade de São Paulo. São Paulo. 184 pp.
- Carvalho, F. de A. F. de, 1987. Produção, Comercialização e Industrialização de Algas Marinhas na América do Sul. *Arq. Ciênc. Mar.*, . 26: 51-58.
- Castro, B. M. & Miranda, L. B., 1998. Physical oceanography of the western Atlantic continental shelf located between 4° N and 34° S. In: *The Sea* . A. R. Robinson & K. H. Brink (eds.), pp 209-251 John Wiley & Sons, New York.
- Choi, H. G.; Kim, Y. S. Kim, J. H.; Lee, S. J; Park, E. J.; Ryu, J. Nam, K. W.; 2006. Effects of temperature and salinity on the growth of *Gracilaria verrucosa* and *G. chorda*, with the potential for mariculture in Korea. ***Journal of Applied Phycology*** 18: 269–277
- Chow, F.; Capociama, F. V.; Faria, R.; Oliveira, M. C., 2007 Characterization of nitrate reductase activity *in vitro* in *Gracilaria caudata* J. Agardh (Rhodophyta, Gracilariales) ***Revista Brasileira de Botânica*** 30: 123-129.
- Connell, J. H. & Slatyer, R.O. 1977. Mechanisms of succession in natural communities and their roles in community stability and organization. *Am. Nat.*111: 1119-1144.
- Critchley, A.T. 1993. Introduction: Seaweed resources. In: Ohno, M. & Critchley, A.T. (Eds), Seaweed cultivation and marine ranching, JICA, Japan. p.1-6.
- Destombe, C.; Valero, M.; Vernet, P. & Couvet, D. 1989. What controls haploid-diploid ratio in the red alga, *Gracilaria verrucosa*? *J. Evol. Biol.*, 2: 317-338.
- Edwards, P. 1970. Illustrated guide to the seaweeds and sea grasses in the vicinity of Porto Aransas, Texas . *Contr. Mar. Sc .Austin*, 15: 1-228 (sup.).
- Emerson, S. E. & Zedler, J. 1978. Recolonization of Intertidal Algae: An Experimental Study. *Marine Biology*, 44: 315-324.
- Eston, V. R. de & Bussab, W. O. 1990. An experimental analysis of ecological dominance in a rocky subtidal macroalgal community. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 136: 179-195.
- Farias, J. N; Miranda, G. E. C. & Lima, E. A. 2004. Impacto causado pela sobre-exploração da espécie *Gracilaria caudata* J. Agardh (Gracilariales,

- Rhodophyta) na praia de Ponta de Mato, Cabedelo Paraíba, Brasil. X RBFIC, resumo anais. CD room.
- Fei, X. G. & Huang, L. J. 1991. Artificial sporeling and Field cultivation of ***Gelidium*** in China. **Hydrobiology** 221: 119-124.
- Fierst, J.; Horst, C.; Kübler, J. E.; Dudgeon, S. 2005. Fertilization success can drive patterns of phase dominance in Complex life histories. *J. Phycol.* 41, 238–249.
- Foster, M. S. & Barilotti, D. C., 1990. An approach to determining the ecological effects of seaweed harvesting: a summary. *Hydrobiologia*, 204/205: 15-16.
- Glenn, E.; Moore, D.; Brown, J.J.; Tanner, R.; Fitzsimmons, K.; Akutigawa, M.; Napoleon, S. 1998. A sustainable culture system for *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) using sporelings, reef growout and floating cages in Hawaii. *Aquaculture*, 165: 221-232.
- Glenn, E.P.; Moore, D.; Fitzsimmons, K. & Azevedo, C. 1996. Spore culture of the edible red seaweed, *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta). ***Aquaculture*** 142: 59-74.
- Guimarães, M.; Plastino, E. M. & Oliveira, E. C. 1999. Life-History, reproduction, and growth of *Gracilaria domingensis* (Gracilariales, Rhodophyta) from Brazil. *Botanica Marina*, v. 42, p. 481-486.
- Guiry, M.D. (1990). Sporangia and spores. In: ***Biology of the Red Algae***. (Cole, K.M. & Sheath, R.G. Eds),.Cambridge: Cambridge University Press. pp. 347-376.
- Gurgel, C.F.D. & Fredericq, S. 2004. Systematics of the Gracilariaceae (Gracilariales, Rhodophyta): a critical assessment based on *rbcl* sequence analysis. *Journal of Phycology* 40: 138-159.
- Halling, C; Aroca, G; Cienfuentes, M; Busschmann, A. H. 2005. Comparison of spore inoculated and vegetative propagated cultivation methods of *Gracilaria chilensis* in an integrated seaweed and fish cage culture. *Aquaculture International*. 13:409–422
- Jackson, B. C.; Kirby, M. X.; Berger, W. H.; Bjorndal, K.A.; Botsford, L. W.; Pandolf, J. M.; Warner, T. R.R. 2001. Historical Overfishing and the Recent Collapse of Coastal Ecosystems. *Science*, Vol 293 – 629-637.

- Joly, A. B.; Cordeiro, M.; Mendoza, M. L.; Yamaguishi, N. & Ugadim, Y. 1963. Additions to the marine flora of Brasil. III. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, São Paulo, Série Botânica*, 20: 7-21.
- Kain, J. M. & Destombe, C., 1995. A review of the life history, reproduction and phenology of *Gracilaria*. *Journal of Applied Phycology*, 7 : 269-281.
- Largo, D. B. & Ohno, M. 1993. Constructing an artificial seaweed bed. In: Seaweed Cultivation and Marine Ranching Eds. Massao Ohno & Alan T. Critchley. Cap. 10 pp 113 – 130.;
- Macedo, S. J. Muniz, K & Montes, M. J. F. 2004. Hidrologia da Região Costeira e Plataforma Continental de Pernambuco. *In: Oceanografia um cenário tropical*. Org: Enide eskinazi Leça & outros. Recife – PE, pp: 255-286.
- Macchiavello, J.; Paula, E. J. & Oliveira, E. C. 1998. Growth rate Responses of Five Commercial Strains of *Gracilaria* (Rhodophyta, Gracilariales) to Temperature and Light. **Journal of the World Aquaculture Society** 29: 259-265.
- Mantri, V. A.; Thakur, M. C.; Reddy, C.R.K.; Jha. B. 2009. The carpospore culture of industrially important red alga *Gracilaria dura* (Gracilariales, Rhodophyta). *Aquaculture* 297: 85-90
- McLachlan, J. & Edelstein, T. 1977. Life history and culture of *Gracilaria folifera* (Rhodophyta) from south Devon. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 57: 577-586.
- Merrill, J. E. & Gillingham, D. M. 1991. Seaweed management systems for use in habitat restoration, environmental management, and mitigation. *Puget Sound Research* 354-363.
- Miranda, G. E. C. 2000. Avaliação do impacto da exploração (simulada) da alga agarófita *Gracilaria caudata* (Rhodophyta) no litoral do Estado da Paraíba. IB/USP 104 p. Dissertação de mestrado.
- Murray , S. N. & Littler, M.M. 1978. Analysis of seaweed communities in a disturbed rocky intertidal environment near Whites Point, Los Angeles, Calif., U.S.A. *Hydrobiologia*. Vols 116/117: 374-382.
- Odum, E.P. 1988. *Ecologia*. Ed Guanabara, Rio de Janeiro. 484p.

- Ogata, E.; Matsui, T. & Nakamura, H. 1972. The life circle of *Gracilaria verrucosa* (Rhodophyceae, Gigartinales) in vitro. *Phycologia*, 11: 75-80.
- Ohno, M.; Arai, S.; Watanabe, M. 1990. Seaweed succession on artificial reefs on different substrata. *J. appl. Phycol.* 2: 323–332.
- Oliveira Filho, E.C. 1977. **Algas marinhas bentônicas do Brasil**. Tese de livre-docência. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. 407p.
- Oliveira Filho, E. C., 1981a . Marine phycology and exploitation of seaweed in South America. *Seaweed Symp.*, 10: 97-112.
- Oliveira Filho, E. C., 1981b. A exploração de algas marinhas no Brasil: situação atual e perspectivas futuras. *Phycol. lat.-amer.*, 1: 5-18.
- Oliveira Filho, E. C., 1981c. Algas marinhas: da exploração aleatória ao cultivo racional. *Anais II Congr. brasileiro Eng. Pesca*, Recife, 2: 11-30.
- Oliveira, E. C., 1998. The seaweed resources of Brazil. In: *Seaweed resources of the world*. A.T. Critchley & M. Ohno (eds.) pp. 367-371. JICA . Japão.
- Oliveira, E. C., 1997. Algas marinhas : um recurso ainda pouco explotado pelo Brasil. *Panorama da Aqüicultura*, 7: 24-26.
- Oliveira, E. C.; Alveal, K. & Anderson, R. J. 2000. Mariculture of Agar-producing gracilarioid red algae. *Reviews in Fisheries Science*, 8(4): 347-377.
- Oliveira, E. C. & Miranda, G. E. C. de, 1998. Aspectos Sociais e Econômicos da Exploração de algas Marinhas do Brasil. In: *Annais do IV Congresso Latino Americano, II Reunião Ibero-Americana e VII Reunião Brasileira de Ficologia*. E. J. de Paula & Outros (eds.), pp. 149-156.
- Oliveira, E.C. & Paula, E J. 1974. Estudos sobre a germinação de esporos de rodofíceas do litoral brasileiro-I. XXV Congresso Nacional de Botânica, Mossoró, RN p.125-133.
- Oliveira, E. C. & Plastino, E. M. 1994. Gracilariaceae. In: *Biology of economic algae*. I. Akatsuka (ed.), pp 185-226, SPB Academic Publishing, The Hauge.
- Oliveira Filho, E. C. & Sazima, I. P. 1973. Estudo sobre a biologia de algas agarófitas. I. Recolonização, brotamento e fenologia em populações naturais de *Pterocladia capillacea* (Rhodophyta, Gelidiaceae). *Bolm. Zool. Biol. Mar.*, 30: 677-690.

- Paula, E. J. 1994. Influência da temperatura, luz e salinidade no crescimento de plântulas de *Sargassum cymosum* C. Agardh (Phaeophyta-Fucales). *Rev. Bras. Bot.* 17: 53-60.
- Paula, E. J. ; Erbert, C. ; Pereira, R. T. L. 2001 . Growth rate of the carrageenophyte *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) in vitro. *Phycological Research*, v. 49, n. 3, p. 155-161
- Paula, E. J. & Eston, V. R. 1989. Secondary succession on na exposed rocky intertidal algal community of the state of São Paulo – Brazil. *Boim. Botânica, Univ. S. Paulo*, 11: 1-9.
- Pereira, S. M. B.; Oliveira-Filho, E.C de ; Araujo, M. S. ; Melo, L. B Paes ; C, F. A. F; Câmara neto, C.. Prospecção dos bancos de algas marinhas do Estado do Rio Grande do Norte. 2a parte; profundidade de 10 a 45m. *Estudos de Pesca, Recife*, v. 9, p. 27-81, 1981.
- Petraitis, P. S. & Dudgeon, R. S. 2005. Divergent succession and implications for alternative states on rocky intertidal shores. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 326: 14–26.
- Pinheiro-Joventino, F. & Bezerra, C. L. F. 1980. Estudo de fenologia e regeneração de *Gracilaria domingensis* Sonder (Rhodophyta – Gracilariaceae), no Estado do Ceará. *Arq. Cienc. Do Mar*. 20: 33-41
- Pinheiro-Vieira, F. & Ferreira, M.M., 1968. Algas marinhas de interesse industrial para o Nordeste brasileiro. *Arq. Cienc. Mar. Univ. Fed. do Ceará*, 20: 1-9.
- Plastino, E. M. ; Guimarães, M. ; Matioli, S. R. ; Oliveira, E. C. 1999. Codominant Inheritance of polymorphic color variants of *Gracilaria domingensis* (Gracilariales, Rhodophyta). *Brazilian Journal of Genetics, Brasil*, v. 22, n. 1, p. 1-4, 1999.
- Plastino, E. M. & Oliveira, E. C. de, 1997. *Gracilaria caudata* J. Agardh (Gracilariales, Rhodophyta) - restoring an old name for a common western Atlantic alga. *Phycologia*, 36: 225-232.
- Polifrone, M.;De Masi, F.; Gargiulo, G. M. 2006 Alternative pathways in the life history of *Gracilaria gracilis* (Gracilariales, Rhodophyta) from north-eastern Sicily (Italy). *Aquaculture*. 261: 1003–1013.

- Romo, H.; Alveal, K. & Dellarossa, V. 1979. Biología de *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss em Chile Central. *Actas Symp. Algas Mar. Chilenas*, 1: 155-163.
- Sassi, R., Kutner, M. B. B. & Moura, G. F., 1985. Studies on the decomposition of drift seaweed from the northeast Brazilian coastal reefs. *Hydrobiologia*, 157: 187-192.
- Sassi, R. & Oliveira, R. B., 1983. Projeto Estuário do Rio Paraíba do Norte. Relatório técnico Final. NEPREMAR/UFPB. Paraíba, 123p.
- Silva, R. L., Pereira, S. M. B., Oliveira Filho, E. C. & Eston, V. R., 1987. Structure of a Bed of *Gracilaria* spp. (Rhodophyta) in Northeastern Brazil. *Botanica Marina*, 30 : 517-523.
- Souza, W. P. 1980. The responses of a community to disturbance: The importance of successional age and species life histories. *Oecologia*, 45: 72-81.
- Sutherland, J. P. 1974. Multiple stable points in natural communities. *Amer. Naturalist*, 108: 859-873.
- Terawaki, T., Yoshikawa, K., Yoshida, G., Uchimura, M., Arai, S. 2001. Horizontal and vertical distribution pattern of macro-algae in Hiroshima Bay, western Seto Inland Sea. *Bull. Fish. Environ. Inland Sea* 3, 73–81
- Terawaki, Y; Yoshikawa, K; Yoshida, G; Uchimura, M & Iseki, K. 2003. Ecology and restoration technique for *Sargassum* beds in the Seto Inland Sea, Japan. *Marine Pollution* 47 – pp 189-201.
- Thomsen, M. S; Wernberg, T.; Altieri, A.; Tuya, F.; Gulbransen, D.; Silliman, B. R. 2010. Habitat Cascades: The Conceptual Context and Global Relevance of Facilitation Cascades via Habitat Formation and Modification. *Integrative and Comparative Biology*, pp. 1–18.
- Van der Meer, J. P. & Todd, E.R. 1977. Genetics of *Gracilaria* sp. (Rhodophyceae, Gigartinales). IV. Mitotic recombination and its relationships to mixed phases in the life history. *Can. J. Bot.*, 55: 2810-2817.

- Vasquez, J.;Vega, J. M. A. 2001. *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) in northern Chile: ecological aspects for management of wild populations. *Journal of Applied Phycology*. 13: 267–277.
- Ye, N., Wang, H., Wang, G., 2006. Formation and early development of tetraspores of *Gracilaria lemaneiformis* (Gracilaria, Gracilariaceae) under laboratory conditions. *Aquaculture* 254: 219–226.
- Yeong, H.Y., Khalid, N., Phang, S.W., 2008. Protoplast isolation and regeneration from *Gracilaria changii* (Gracilariales, Rhodophyta). *J. Appl. Phycol.* 20: 641–651
- Yokoya, N. S. & Oliveira, E. C., 1992. Effects of salinity on the growth rate , morphology and water content of some brazilian red algae of economic importance. *Ciencias Marinas*, 18: 49-64.
- Yokoya, N. S. & Oliveira, E. C., 1993. Effects of temperature and salinity on spore germination and sporeling development in South American agarophytes (Rhodophyta). *Jpn. J. Phycol.*, 41: 283-293.
- Yokoya, N.S. 2000. Apical callus formation and plant regeneration controlled by plant growth regulators on axenic culture of the red alga *Gracilaria tenuifrons* (Gracilariales, Rhodophyta). *Phycological Research*, 48:133-142.
- Zarr, J. H., 1996. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, New J Jackson.

ANEXO 1 – Manuscrito do artigo no prelo
para publicação. (Hydrobiologica)

Effects of temperature, salinity and irradiance on carposporeling development of *Gracilaria caudata* (Gracilariales, Rhodophyta)

Efecto de la temperatura, salinidad y radiación en el desarrollo de plántulas originadas de carposporas en *Gracilaria caudata* (Gracilariales, Rhodophyta)

George Emmanuel Cavalcanti de Miranda ^{a *}

Nair Sumie Yokoya ^b

Mutue Toyota Fujii ^c

a – Universidade Federal da Paraíba, CCEN/DSE, 58059-900 João Pessoa, PB, Brazil. e-mail: mirandag@dse.ufpb.br , tel. + 55 83 32167464.

* Corresponding author.

b – Instituto de Botânica, Miguel Estéfano Ave, 3687, 04301-012 São Paulo, SP, Brazil. e-mail: nyokoya@hotmail.com.

c – Instituto de Botânica, Miguel Estéfano Ave, 3687, 04301-012 São Paulo, SP, Brazil. e-mail: mutue.fujii@pq.cnpq.br

Introduction

The genus *Gracilaria* Greville is the main source of agar throughout the world (Oliveira et al., 2000; Ye et al., 2006). In Brazil the exploitation of seaweeds for the agar production occurs mainly in the northeastern part of country using the following species: *Gracilaria birdiae* Plastino & Oliveira, *G. caudata* J. Agardh, *G. cornea* J. Agardh, and *G. domingensis* (Kützinger) Sonder ex Dickie (Oliveira et al, 1998; Oliveira et al., 2000). The harvesting of *G. caudata* from natural populations became common practice in the northeastern Brazil and expanded rapidly since 1970s (Oliveira Filho, 1981; Oliveira et al, 1998; Oliveira, 1998), but this activity had to be suspended due to the reduction of the natural populations (Miranda, 2008). Critchley (1993) and Oliveira et al. (2000) discuss

the fact that these natural populations cannot withstand the growing demand required for the production of phycocolloid.

Gracilaria caudata is abundant in tropical waters of the western Atlantic Ocean and occurs along the Brazilian coast (Joly et al., 1963; Oliveira, 1998; Silva et al., 1987; Plastino & Oliveira, 1997; Oliveira et al., 1998; Chow et al., 2007). It is found in clear to turbid water and shows a cylindrical erectly branched thallus, reaching more than 30 cm high (Plastino & Oliveira, 1997).

Environmental factors, such as temperature, salinity, and irradiance on marine seaweed are of great interest to researchers worldwide, especially studies that focus on economically important species. In Brazil Macchiavello et al. (1998) studied the effects of temperature and light on the growth of species of *Gracilaria*, including *G. caudata*. Yokoya & Oliveira (1992, 1993) studied the effects of temperature and salinity on spore germination and sporeling growth of plantlets of various agarophytic species, including *G. aff verrucosa*.

The development of suitable cultivation technologies is essential to the establishment of a successful method of commercial cultivation, avoiding the exploitation of natural seaweed populations (Wilkfors & Ohno, 2001). In this way various authors developed methods for cultivating *Gracilaria* by using its spores as Glenn et al. (1996, 1998); Alveal et al. (1997); Avila et al. (2001). Alveal et al. (1997) and Mantri et al. (2009) define the understanding of spore biology as the most important steps that determine the success of spore cultivation method.

The main objective of this study was to estimate the effects of temperature, salinity, and irradiance on the carposporeling development of *G. caudata*, defining the tolerance ranges and optimal growth conditions. This information is fundamental to the development of cultivation programs using spores.

Material and Methods

Culture conditions and liberation of carpospores. Fertile female gametophytes of *G. caudata* were collected at the Itamaracá beach, Pernambuco (7°44'31''S, 34°49'22''W), northeastern Brazil, on 15 October, 2007, and transported to the *Laboratory of Culture of Seaweeds and Cyanobacter "Marilza Cordeiro-Marino"* at the Institute of Botanic in São Paulo,

Brazil. The specimens were maintained in culture medium (VS/4) composed by sterilized seawater enriched with 25% of Von Stosch (VS/4) solution (Edwards, 1970) with a 50% reduction in the vitamin concentrations, according with Ramlov (2009), at 23°C (+/- 1.0°C) temperature, with a photon flux density of 60 to 70 μmol of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, and 30 psu (practical salinity unity). To reduce the growth of diatoms, 1 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of germanium dioxide was added to the medium (Paula et al., 2001).

The liberation of carpospores was induced under low irradiance (10 μmol of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) as suggested by Orduña-Roja & Robledo (1999). Thallus segments of approximately 1cm high, with one to three cystocarps, were isolated and transferred to glass slides (2 × 2 cm) placed inside Petri dishes with culture medium (VS/4), where the released carpospores inoculated were measured. After 48 hours the plantlets, 50 by glass slide at least, was cultivated in flasks with approximately 150 ml of VS/4 medium. For all experiments, the culture medium was changed weekly and the photoperiod was 12/12 hour (light/dark).

Effects of temperature, salinity and irradiance on carposporeling development. Photon flux density (PFD) – Five treatments were tested in a cultivation chamber with different photon flux densities: 200 ± 5 μmol of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$; 100 ± 5 μmol of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$; 62.5 ± 2.5 μmol of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$; 30 ± 1.5 μmol of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, and 18 ± 1 μmol of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Each treatment was tested with four inoculated Petri dish (n=4).

Salinity – Different levels of salinity were obtained by seawater freezing and melting, as the method described by Yokoya & Oliveira (1993). The following practical salinity unity (PSU) values were obtained and checked with refractometer (American Optical): 07 psu, 15 psu, 25 psu, 35 psu, 45 psu, and 55 psu. Each treatment was tested with three inoculated Petri dish (n=3).

Temperature – The experiments were performed in a cultivation chamber under the temperatures of 20°C, 25°C, 30°C, and 35°C (+/- 0.5°C). Each treatment was tested with three inoculated Petri dish (n=3).

For each replicate in all the tested treatments, the carposporeling growth was evaluated weekly (four weeks) by measuring the diameter of the carpospore and the length of the erect shoot of 20 randomly selected plantlets. Growth rate (GR) was calculated according to Brinkhuis (1986), following the formula: $GR = (\ln \text{ final length} - \ln \text{ initial length} / \text{ final time} - \text{ initial time}) \times 100$, the initial measurement corresponds to the diameter of carpospore and the final measurement corresponds to the length of the erect shoot.

Statistical analysis. Unifactorial analysis of variance “ANOVA” ($p = 0,05$) was performed when possible, and a *a posteriori* Student-Newman-Keuls test was used to compare the treatments that were statistically different. When the normality and homoscedasticity requirements of the variances were not observed, the non-parametric Kruskal-Wallis test was performed according to Zar (1999). SigmaStat was used to perform the statistical calculations. The linear regression was calculated to verify the correlation between the tested factors and the growth of *G. caudata* (Zar, 1999).

Results

The germination pattern of *G. caudata* carpospores observed in the present study was similar to that described by Yokoya (1993), Polifrone et al. (2006), Yeong et al. (2008), and Mantri et al. (2009) and corresponds to the *Dumontia*-type according to Guiry (1990). A very common characteristic observed was the coalescence of basal discs, giving rise to a basal disc with three or more erect shoots. The initial branching of the erect shoot occurred both laterally and at the apex of the shoot. The germination of the carpospores was also observed *in situ*, occurring on the cystocarp of the mother plant (Fig. 1).

(FIGURE 1)

Effect of irradiance on carpospores development. The carpospores used on irradiance experiments had an initial diameter of $23.37 \mu\text{m}$ (± 0.37). None of the photon flux densities tested inhibited carpospores germination or limited the growth of the erect shoot of the plantlets. The variance analysis and the a

posteriori Student-Newman-Keuls test indicated that there were differences among all treatments, except between treatments at $100 \pm 5 \mu\text{mol}$ of photon $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ and at $62.5 \pm 2.5 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Thus, the growth comparison of the plantlets among the treatments was the following: $200 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1} > 100 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1} \cong 62.5 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1} > 30 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1} > 18 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($>$ ou $< =$ statistically different; $\cong =$ not statistically different). A strong positive correlation was found between the photon flux and the length of the erect shoot with an $r = 0.98$. Fig. 2 shows the values of the growth rates at the end of the experiment.

(FIGURE 2)

The formation of the basal discs was affected by the different PFD treatments. The results were not statistically different between $200 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (± 5) and $100 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (± 5), as well as between $30 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (± 1.5) and $18 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (± 1). Thus the decreasing order of the growth of the basal disc was the following: $200 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1} \cong 100 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1} > 62.5 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1} > 30 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1} \cong 18 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ($> =$ statistically different; $\cong =$ not statistically different).

Effect of salinity on carpospores development. The liberated carpospores used to evaluate the effect of salinity had a diameter of $23.49 \mu\text{m}$ (± 0.56) at the beginning of the experiment. Minimum and maximum tolerance limits on the germination were up 07 psu and down 55 psu, respectively. These values were lethal, prevented or inhibit the formation of basal discs and erect shoot. The formation of the basal disc was influenced by salinity variation; however, there were no statistical differences among 25 psu and 45 psu. The following decreasing order in diameter of disc was observed: 25 psu \cong 35 psu \cong 45 psu $>$ 15 psu $>$ 55 psu. The salinity level of 07 psu was lethal to the spores.

Maximum growth was observed at the salinity of 35 psu. Salinity of 15 psu inhibited the formation of erect shoot and carposporeling developed only basal disc. Data on the growth of the erect shoots indicated the decreasing order of: 35 psu $>$ 45 psu $>$ 25 psu $>$ 15 psu, and shows statistical differences. Fig. 3

shows the daily growth rate of the plantlets in the tested salinity levels. There was no linear correlation between the increasing tested salinity levels and the carposporeling growth ($r_{\text{Pearson}} = 0.20$).

(FIGURE 3)

Effect of temperature on carpospores development. The carpospores used in the temperature experiment had an average diameter of 23.39 μm (+/- 0.30). Temperature of 35°C was lethal to all the spores. The best results were obtained at 25°C, followed by 30°C and 20°C, respectively (Fig. 1). The statistical analyses showed differences between the growth rates at 25°C when compared to the other temperatures tested. There were no statistical differences in the carposporelings grown at 20°C compared to those grown at 30°C (Fig. 4).

(FIGURE 4)

There was no linear correlation ($r_{\text{Pearson}} = 0.09$) between the increase of temperature and growth. The formation of the basal disc was not statistically different based on the temperatures tested. Differences were significant only after the erect shoots started to grow.

Discussion

In the *Dumontia*-type germination pattern shown in *G. caudata* the fusion of the basal discs from various sporelings was observed. This could explain the genetic mosaics that Kain & Destombe (1995) called chimeras, where the fusion of the discs can create complex genetic systems with distinct genotypes in a single thallus. Polifrone et al. (2006) and Plastino et al. (1999) verified the formation of a sexual mosaic caused by the germination of tetraspores *in situ* and the development of gametophytes in the same thallus of the tetrasporophytes. Another factor that could explain the presence of the so-called chimeras is the germination of the carpospores inside of the cystocarp, giving rise to a system where the female gametophyte (haploid) acts as a support to the tetrasporophyte(diploid) (Fig. 1).

The effect of the irradiance on spore germination and early development of the plantlets indicated statistical differences among almost every treatment; however, the range of photon flux densities tested in the present study did not limit the development of the algae at any level tested,. A high correlation ($r = 0.98$) between the carposporeling growth of *G. caudata* and the increase of PFD suggests that the saturation irradiance levels are higher than $200 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Ye et al. (2006) showed negative effect on diameter and survival rate of tetraspores of *Gracilaria lamaneiformes* under PFD which exceeds $480 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. The results for the low values of PFD show that *G. caudata* can survive in low light environments, a fact cited by Plastino & Oliveira (1997) who noted that this species was common in turbid water and can also be found growing partially buried in the sand.

Considering the results obtained in the present study, when incorporating these techniques into aquaculture production from carpospores, it is suggested that the PFD of the system is set at approximately $10 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ during the seedling and $100 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ during the first week of development, since a value above showed no statistical differences in the formation of the basal disc. Starting the second week of development, a PFD value of $200 \mu\text{mol}$ of photons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, or higher, is desirable to promote a significant increase in the growth of the erect shoot.

The tolerance limit to salinity variation was wide, ranging from 15 psu to 45 psu, while optimum growth occurred at 35 psu. These values are similar to those described by McLachlan & Bird (1986) who demonstrated the euryhaline character of *Gracilaria*. The salinity values obtained in laboratory experiment also coincide with the values found in the region where the *G. caudata* population was collected, with salinity level of approximately 36 psu, but can decrease at 20 psu during the rainy season (Silva et al., 1987). The tolerance limits for carposporeling growth of *G. caudata* presented discrete differences when compared to the results obtained by Yokoya & Oliveira (1993) for a distinct population of the same species collected from southeastern Brazil, especially for the lower limit (20 psu) and for the optimal growth level (25 psu).

One hypothesis is that the populations are locally adapted and have distinct tolerance limits to salinity levels (*sensu* Odum, 1988).

The formation of the basal disc in *G. caudata* carposporelings was less affected by salinity variation when compared the formation of the erect shoot. This can be explained by two observations: (1) the formation of the erect shoot was inhibited at the salinity of 15 psu, even though the basal disc formed at this level; and (2) there were no statistical differences in the growth of the basal disc at salinity levels of 25 psu, 35 psu, and 45 psu. This is the inverse of what is theoretically expected based on the limiting factors described by Odum (1988) and Ye et al. (2006), who suggests that plants have lower tolerances to physical factors during the initial phases of the development.

The results obtained in relation to the temperature diverge from those found by Yokoya & Oliveira (1993) and Macchiavello et al. (1998) for *G. caudata*. According to these authors, the optimal growth temperature was 30°C. The highest temperature observed in the present work, which was lethal for *G. caudata*, was approximately 35°C, and it is similar to the limit of 32.8°C indicated by Macchiavello et al. (1998). A lower limit was not determined in the present work, but it is reported to be approximately 14°C and 13.8°C, according to Yokoya & Oliveira (1993) and Macchiavello et al. (1998), respectively.

Gracilaria caudata has a wide geographic distribution in tropical and subtropical waters (Joly et al., 1963; Silva et al., 1987; Plastino & Oliveira, 1997; Macchiavello et al., 1998; Oliveira et al, 1998; Chow et al., 2007). The optimal growth temperature found in the present work suggests the possibility that the studied population has acclimated to local conditions, which would explain the slight differences in the results of this work compared to previous studies. However, there is a possibility, that the ecological dislocation is related to the interaction between environmental factors (Odum, 1988). This has been well demonstrated by Paula (1994) and by Macchiavello et al. (1998) for algal growth in relation to combined physical factors such as temperature, PFD, and salinity. The seawater temperature at Itamaracá (PE) oscillates from 24°C to 29°C, with an average of 26°C throughout the year (Silva et al., 1987), which reinforces the hypothesis of acclimation for this population of *G. caudata*.

From an application point of view, the optimal temperature of 25°C observed in this study for the carposporeling development should not be used in the development of general cultivation techniques for *G. caudata*, since there are locally acclimated populations that have different optimal values.

It is important to observe that the formation of the basal disc was not statistically different at the temperatures of 20°C and 30°C. These differences were significant only after the erect shoot have been formed, and shows the same contradiction, in relation to the tolerance limits and initial phases of development advocated by Odum (1988), that was discussed above.

The tolerance limits for growth of *G. caudata* to irradiance, salinity, and temperature are similar to other *Gracilaria* species which are widely distributed in tropical and subtropical seawater. Due to the ability of the populations to acclimate to local conditions, and based on the data obtained in this study, it can be suggested that the *G. caudata* populations from Praia de Itamaracá (PE) are well acclimated to the environmental conditions present in the region.

These results show the importance of previous knowledge about the tolerance limits and optimal conditions for sporeling development of *G. caudata* before implementing an aquaculture program. The results also suggest that generalization of values obtained from studies about populations from different regions could reduce productivity because of the development of carpospores under sub-optimal conditions.

Acknowledgements

The authors are grateful to the “Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico” (CNPq), Brazil, for financial supports provided by Edital 10/2006 and Edital Universal (478941/2006-4). We thank Dr. Abel Senties (UAM-Iztapalapa, Mexico) for providing the Resumen of this paper.

References

- Alveal, K., H. Romo, C. Werlinger & E.C. Oliveira. 1997. Mass cultivation of the agar producing alga *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta) from spores. *Aquaculture* 148: 77-83.

- Bird, C.J. & J. McLachlan. 1986. The effect of salinity on distribution of species of *Gracilaria* Grev. (Rhodophyta, Gigartinales): An experimental assessment. *Botanica Marina* 29: 231-238.
- Brinkhuis, B.H., 1986. Growth patterns and rates. In: Litler, M., Litler, D. (Eds.), *Ecological Field Methods: Macroalgae*. Cambridge Press, Cambridge. pp. 461-477 .
- Chow, F., F.V. Capociama, R. Faria & M.C. Oliveira. 2007. Characterization of nitrate reductase activity *in vitro* in *Gracilaria caudata* J. Agardh (Rhodophyta, Gracilariales). *Revista Brasileira de Botânica* 30: 123-129.
- Critchley, A.T. 1993. *Gracilaria* (Rhodophyta, Gracilariales): an economically important agarophyte. In: Ohno, M. & A.T. Critchley (Eds.). *Seaweed cultivation and marine ranching*. Kanagawa International Fisheries Training Center and JICA, Yokosuka, Japan. pp. 89–112.
- Edwards, P. 1970. Illustrate guide to the seaweeds and sea grasses in the vicinity of Porto Aransas, Texas. *Contributions of Marine Science* 15: 1-228 (sup.).
- Glenn, E.P., D. Moore, K. Fitzsimmons & C. Azevedo. 1996. Spore culture of the edible red seaweed, *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta). *Aquaculture* 142: 59-74.
- Glenn, E.P., D. Moore, J.J. Brown, R. Tanner, K. Fitzsimmons, M. Akutigawa & S. Napoleon. 1998. A sustainable culture system for *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) using sporelings, reef growout and floating cages in Hawaii. *Aquaculture* 165: 221–232.
- Guiry, M.D. 1990. Sporangia and spores. In: Cole, K.M. & R.G. Sheath (Eds.). *Biology of the Red Algae*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 347-376.
- Kain, J. & C. Destombe. 1995. A review of the life history, reproduction and phenology of *Gracilaria*. *Journal of Applied Phycology* 7: 269-281.
- Macchiavello, J., E.J. Paula & E.C. Oliveira. 1998. Growth rate responses of five commercial strains of *Gracilaria* (Rhodophyta, Gracilariales) to temperature and light. *Journal of the World Aquaculture Society* 29: 259-265.

- Mantri, V.A., M. C. Thakur, C.R.K. Reddy & B. Jha. 2009. The carpospore culture of industrially important red alga *Gracilaria dura* (Gracilariales, Rhodophyta). *Aquaculture* 297: 85-90.
- Miranda, G.E.C. 2008. Cultivo de macroalgas no Brasil – o longo caminho para a sustentabilidade. *In: Loyola, M.I.B, I. Baseia & J.E. Lichston (Eds.). Atualidades, Desafios e Perspectivas da Botânica no Brasil. Soc. Bras. Bot. Natal, Brasil. pp. 506-508.*
- Odum, E.P. 1988. *Ecologia*. 4th Ed. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 484 p.
- Oliveira Filho, E.C. 1981. A exploração de algas marinhas no Brasil: situação atual e perspectivas futuras. *Phycologia Latin America*1: 5-17.
- Oliveira, E.C. 1998. The seaweed resources of Brazil. *In: Critchley, A. & M. Ohno (Eds.). Seaweeds of the World. Ed. JICA. Yokosuka, Japan. pp. 366-371.*
- Oliveira, E.C. & G.E.C.Miranda. 1998. Aspectos sociais e econômicos da exploração de algas marinhas no Brasil. *In: Paula, E.J., M. Cordeiro-Marino, D.P. Santos, E.M. Plastino, M.T. Fujii & N.S Yokoya (Eds.). Anais do Congresso Latino Americano, II Reunião Ibero-Americana e VII Reunião Brasileira de Ficologia. Soc. Ficol. Amer. Lat. Caribe, São Paulo. 2, 149-156.*
- Oliveira, E.C., K. Alveal & R. Anderson. 2000. Mariculture of the agar-producing Gracilarioid red algae. *Review in Fishers Science* 8: 345-378.
- Orduña-Roja, J. & D. Robledo. 1999. Effect of irradiance and temperature on the release and growth of carpospores from *Gracilaria cornea* J. Agardh (Gracilariales, Rhodophyta). *Botanica Marina* 42: 315–319.
- Paula, E.J. 1994. Influência da temperatura, luz e salinidade no crescimento de plântulas de *Sargassum cymosum* C. Agardh (Phaeophyta-Fucales). *Revista Brasileira de Botânica* 17: 53-60.
- Plastino, E.M.; M. Guimarães, S.R. Matioli & E.C. Oliveira. 1999. Codominante inheritance of polymorphic color variants of *Gracilaria domingensis* (Gracilariales, Rhodophyta). *Genetics and Molecular Biology* 22: 105-108.

- Plastino, E.M. & E.C. Oliveira. 1997. *Gracilaria caudata* J. Agardh (Gracilariales, Rhodophyta) – restoring an old name for a common western Atlantic alga. *Phycology* 36: 225-232.
- Polifrone, M., F.D. Masi, & G.M. Gargiulo. 2006. Alternative pathways in the life history of *Gracilaria gracilis* (Gracilariales, Rhodophyta) from north-eastern Sicily (Italy). *Aquaculture* 261: 1003–1013.
- Ramlov, F., E.M. Plastino & N.S. Yokoya. 2009. Effects of agar on explants growth and callus formation in color morphs of *Gracilaria domingensis* (Kützting) Sonder ex Dickie (Gracilariales, Rhodophyta). *Revista Brasileira de Botânica* 32: 607-615.
- Silva, R.L., S.M.B. Pereira, E.C. Oliveira-Filho & V.R. Eston. 1987. Structure of a bed of *Gracilaria* spp. (Rhodophyta) in Northeastern Brazil. *Botanica Marina* 30: 517-523.
- Wilkfors, G.H. & M. Ohno. 2001. Impact of algal research in aquaculture. *Journal of Phycology* 37: 968-974.
- Ye, N. H. Wang, G. Wang. 2006. Formation and early development of tetraspores of *Gracilaria lemaneiformis* (Gracilaria, Gracilariaceae) under laboratory conditions. *Aquaculture* 254: 219–226.
- Yeong, H.Y., N. Khalid & S.W. Phang. 2008. Protoplast isolation and regeneration from *Gracilaria changii* (Gracilariales, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology* 20: 641–651.
- Yokoya, N.S. & E.C. Oliveira. 1992. Effects of salinity on the growth rate, morphology and water content of some Brazilian red algae of economic importance. *Ciencias Marinas* 18: 49-64.
- Yokoya, N.S. & E.C. Oliveira. 1993. Effects of temperature and salinity on spore germination and sporeling development in South American agarophytes (Rhodophyta). *Japanese Journal of Phycology (Sôrui)* 41: 283-293.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall, New Jersey, 663 p.

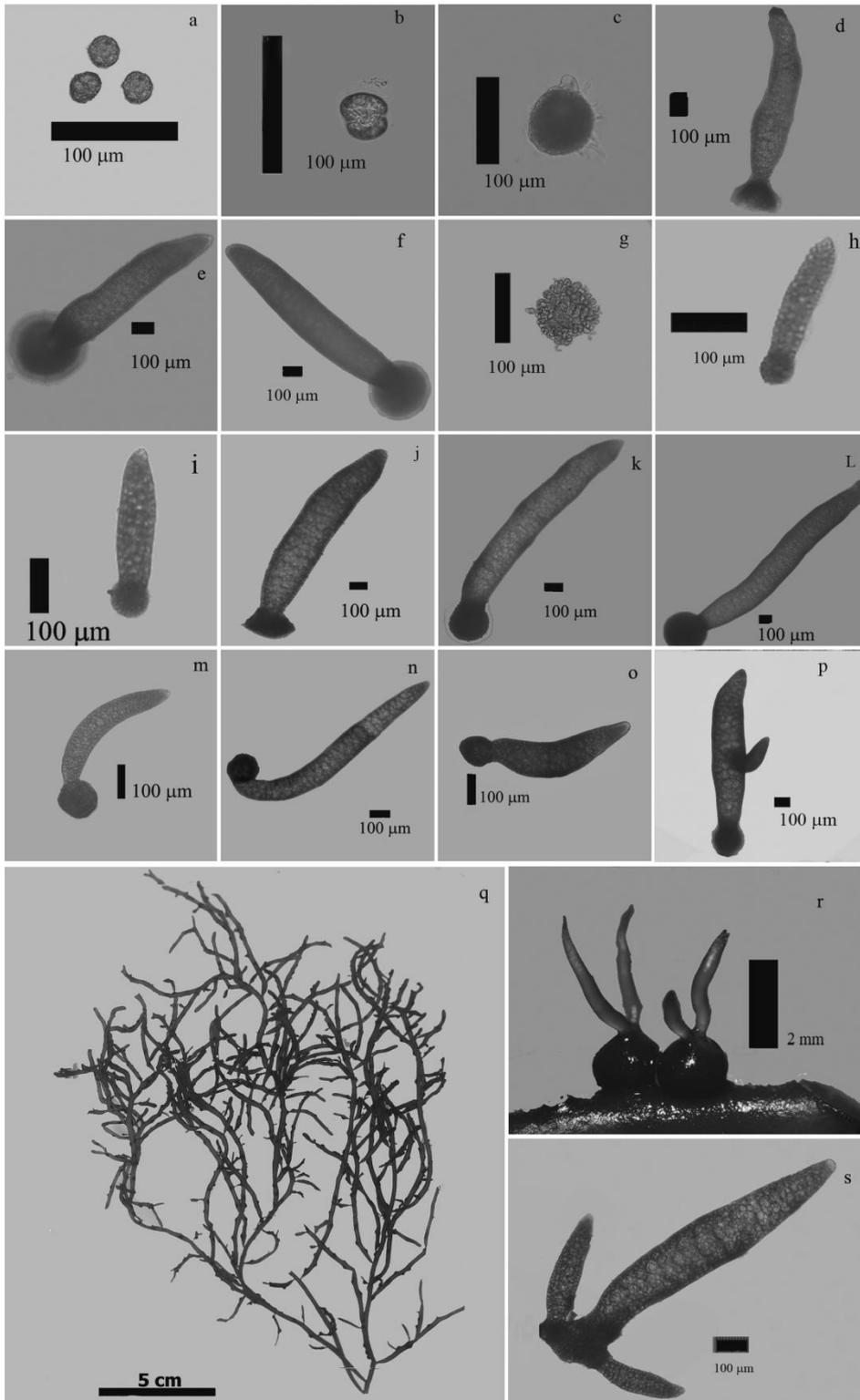


FIGURA 1

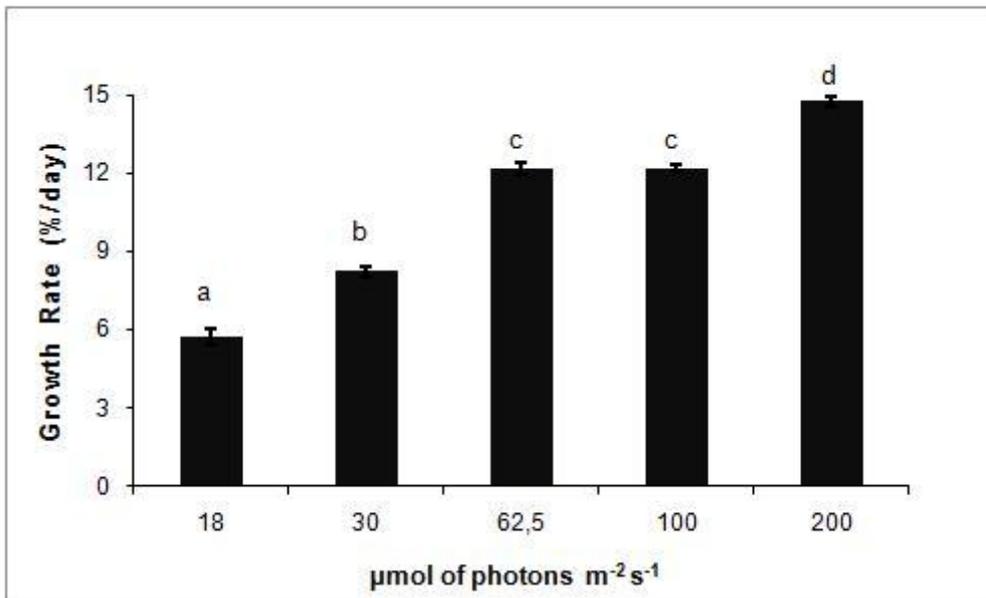


FIGURA 2

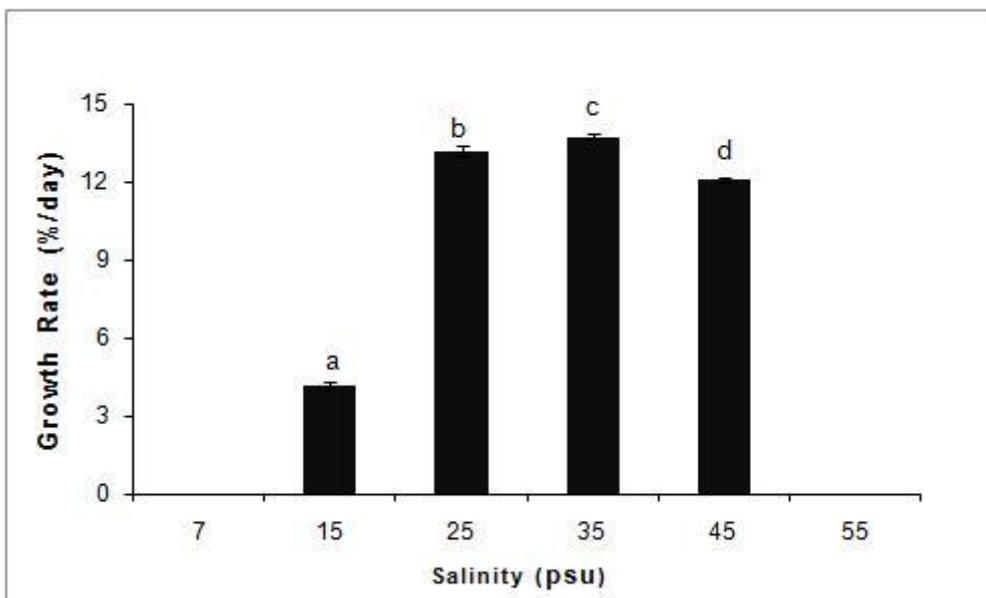


FIGURA 3

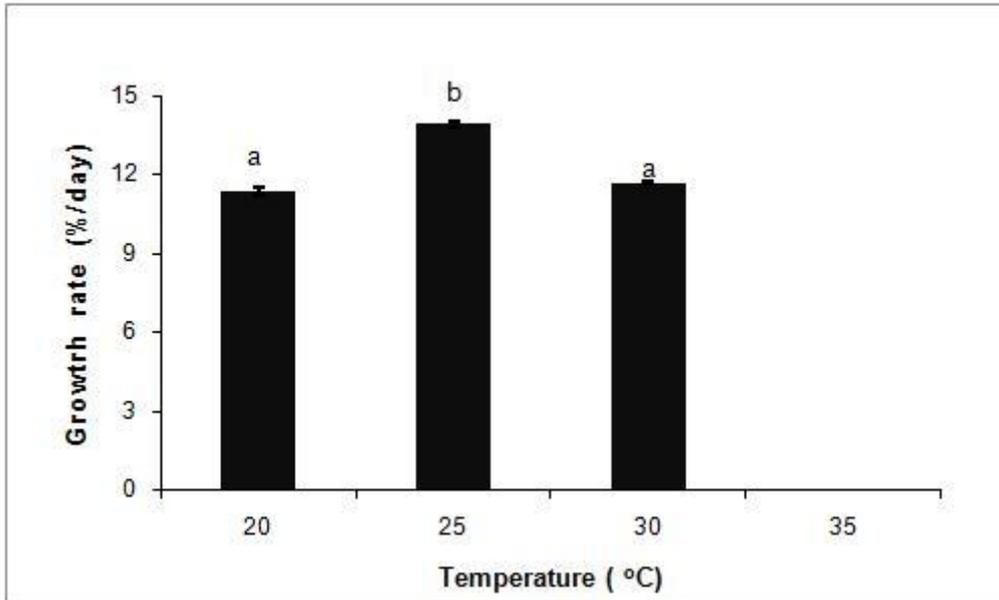


FIGURA 4

Captions of Figures:

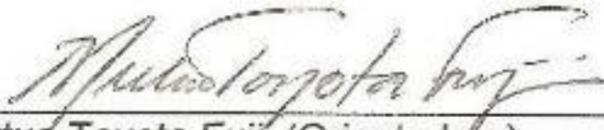
Figure 1. Carpospore germination and development of carposporeling in *Gracilaria caudata*. **a**: Carpospores. **b**: Dead carpospores submitted to 07 psu salinity in the first week of the experiment. **c**, **d**, **e**, and **f**: Plantlets at the end of the salinity experiment after 26 days, at 15 psu, 25 psu, 35 psu, and 45 psu, respectively. **g**: Plantlets cultivated in a salinity of 55 psu, after seven days. **h**, **i**, **j**, **k**, and **l**: Plantlets, submitted to different PFD levels after 31 days, **h** - 17 to 19 $\mu\text{mol of photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$; **i** - 29 to 32 $\mu\text{mol of photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$; **j** - 60 to 65 $\mu\text{mol of photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$; **k** - 95 to 105 $\mu\text{mol of photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$; and **l** - 195 to 205 $\mu\text{mol of photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$. **m**, **n**, and **o**: Plantlets, submitted to different temperatures (20°C, 25°C, and 30°C, respectively) after 25 days. **p**: Detail of lateral branch of a plantlet cultured at laboratory after 31 days. **q**: General view of the thallus of *G. caudata*. **r**: In situ germination of the non-released carpospores inside cystocarps, detail of the apical branch of the plantlet. **s**: Fusion of basal discs of different plantlets.

Figure 2. Growth rates of *G. caudata* in the experiments with different irradiances during 31 days (n= 4; average of 20 measurements). Bars represent stand deviations. Different letters between trataments indicate significant differences according Student-Newman Keulss multiple comparison test (p= 0,05).

Figure 3. Growth rates of *G. caudata* in the experiments with different salinities during 26 days (n= 3; average of 20 measurements). Bars represent the standard deviations. Different letters between trataments indicate significant differences according Student-Newman Keulss multiple comparison test (p= 0,05) or * Kruskal-Wallis nonparametric test.

Figure 4. Growth rates of *G. caudata* in the experiments with different temperatures during 25 days (n= 3; average of 20 measurements). Bars represent standard deviations. Different letters between trataments indicate significant differences according Student-Newman Keulss multiple comparison test (p= 0,05) or * Kruskal-Wallis nonparametric test.

COMISSÃO JULGADORA



Prof. Dra. Mutue Toyota Fujii (Orientadora)



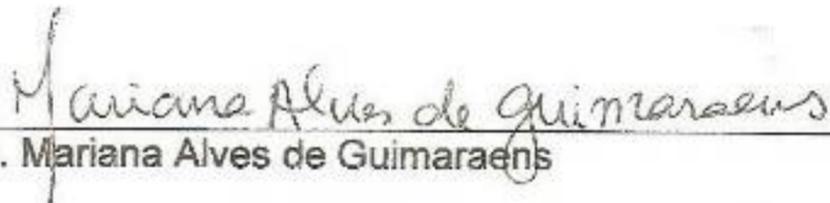
Prof. Dra. Sônia Maria Barreto Pereira



Prof. Dr. Paulo Antunes Horta



Dra. Adilma de Lourdes Montenegro Cocentino



Prof. Dra. Mariana Alves de Guimaraens

Suplentes:

Prof. Dra. Amélia Iacca Kanagawa

Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa