Cristalina Yoshie Yoshimura

**Avaliação do potencial de cultivo e produção
de ágar de *Gracilaria domingensis* e de
Gracilaria caudata (Rhodophyta, Gracilariales) na
Enseada de Armação do Itapocoroy
(Penha, Santa Catarina)**

**São Paulo
2006**

Cristalina Yoshie Yoshimura

**Avaliação do potencial de cultivo e produção de ágar
de *Gracilaria domingensis* e de *Gracilaria caudata*
(Rhodophyta, Gracilariales) na Enseada de Armação do
Itapocoroy (Penha, Santa Catarina)**

Tese apresentada ao Instituto de
Biociências da Universidade de São
Paulo, como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Doutor em Ciências,
na Área de Botânica.

Orientador: Dr. Eurico Cabral de Oliveira
Co-orientadora: Dra. Simone Rabelo Cunha

**São Paulo
2006**

Ficha Catalográfica

Yoshimura, Cristalina Yoshie

Avaliação do potencial de cultivo e produção de ágar de *Gracilaria domingensis* e de *Gracilaria caudata* (Rhodophyta, Gracilariales) na Enseada de Armação do Itapocoroy (Penha, Santa Catarina). 163 pp.

Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. Departamento de Botânica.

1. *Gracilaria domingensis*, *G. caudata* 2. cultivo, ágar

3. Maricultura

I. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências.
Departamento de Botânica.

Comissão Julgadora:

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof. Dr. Eurico Cabral de Oliveira
Orientador

Profa. Dra. Simone Rabelo Cunha
Co-orientadora

Agradecimentos

Este trabalho não teria sido realizado sem a colaboração de muitas pessoas e instituições, cujo conhecimento e apoio foram imprescindíveis e aos quais não posso deixar de agradecer:

Ao Dr Eurico Cabral de Oliveira, pela orientação, pelo apoio e pelos abstracts.

À Dra Simone Rabelo Cunha, pela orientação, apoio e viabilização da estrutura para o trabalho de campo.

Ao Instituto de Biociências da USP pela estrutura dos laboratórios.

Ao CTTMar/UNIVALI pela estrutura logística para a fase de cultivo.

Ao CNPq, pelo auxílio concedido.

Ao Rosário Petti pelo apoio e presteza no laboratório.

Aos Dr Adriano Marenzi e Dr Gilberto Manzoni por cederem espaço e viabilizarem a estrutura de campo e no Laboratório de Tecnologia de Cultivo da UNIVALI.

Aos comparsas de triagens, Louisiane, Ivan e Jesus (Podicrê!) pela ajuda nos intermináveis dias de triagem.

Ao pessoal de campo: Edinho, Renato, Erich (*in memorian*), Márcio, Robson, Tiago, Fafau, Rodrigo, Luciano, Cláudia, Fé, Tati e a tantos que de alguma maneira ajudaram neste trabalho.

Às queridas Tereza e Zi, pelos cafezinhos, almoços e carinho em todos os momentos.

À Zenilda Bolzon, pelo incentivo.

À toda “família” LAM: Amanda, Bia, Cíntia, Danis, Guilherme, José, Lagosta, Leila, Lígia, Luciana, Mari, Mônica, Natália e Rubén, pelo apoio.

Aos amigos Débora Cabral e Paulinho Horta pelos momentos agradáveis e principalmente pela troca de “pensamentos”.

À Simone, por todas as horas de conversa e troca de idéias que fizeram parte deste trabalho, também pela ética e competência profissional, paciência, correções, sugestões e apoio em todos os momentos do desenvolvimento desta tese.

À Fungyi e Rose, amigas para TODAS as horas, pela ética, profissionalismo, apoio, aulas de marketing, grande ajuda na discussão e elaboração deste trabalho e principalmente por serem pessoas tão especiais.

Aos amigos manezinhos, companheiros para todas as horas, Cigano e Silvana.

À dona Kikinha e toda família, em especial às amigas e irmãs, Mika e Rie, pelo apoio, compreensão, confiança e palavras de incentivo nos momentos mais necessários.

Ao Gladston, companheiro para todas as horas, pelo apoio incondicional e pela compreensão.

ÍNDICE

RESUMO GERAL.....	8
ABSTRACT	9
CAPÍTULO I.....	10
1 – PANORAMA INTERNACIONAL DO CULTIVO DE MACROALGAS	11
2 – PANORAMA BRASILEIRO DO CULTIVO DE MACROALGAS	14
3 – TÉCNICAS DE CULTIVO DE <i>GRACILARIA</i>	16
4 – OBJETIVOS	18
4.1 – OBJETIVOS GERAIS	18
5 – ÁREA DE ESTUDO	18
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
CAPÍTULO II	25
RESUMO	26
ABSTRACT	27
1 – INTRODUÇÃO.....	28
2 – MATERIAIS E MÉTODOS	32
2.1 – OS LOCAIS DE CULTIVO.....	32
2.2 – ESTRUTURA DE CULTIVO	33
2.3 – O CULTIVO.....	34
2.4 – DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA DE CULTIVO PARA <i>G. DOMINGENSIS</i>	35
2.4.1 – Avaliação de diferentes intervalos de profundidade e de tempo de cultivo	35
2.4.2 – Fixação das mudas às cordas de cultivo: técnicas de inserção e de	
amarração	35
2.4.3 – Diferentes espaçamentos entre mudas de <i>G. domingensis</i> nas cordas de	
cultivo.....	36
2.4.4 – Diferentes biomassas iniciais das mudas	37
2.5 – AVALIAÇÃO DO CULTIVO DE <i>G. DOMINGENSIS</i> AO LONGO DO PERÍODO	
EXPERIMENTAL EM DIFERENTES DE PROFUNDIDADE E DE TEMPO DE CULTIVO	37
2.6 – COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE CRESCIMENTO DE <i>G. DOMINGENSIS</i> E <i>G. CAUDATA</i>	
CULTIVADAS EM DIFERENTES PROFUNDIDADES E INTERVALOS DE TEMPO DE CULTIVO..	38
2.7 – ANÁLISE DOS DADOS	38
3 - RESULTADOS	39
3.1 – DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA DE CULTIVO PARA <i>G. DOMINGENSIS</i>	39
3.1.1 – Avaliação de diferentes intervalos de profundidade e de tempo de cultivo	39
3.1.2 – Fixação das mudas de <i>G. domingensis</i> às cordas de cultivo: técnicas de	
inserção e de amarração.....	42
3.1.3 – Diferentes espaçamentos entre mudas de <i>G. domingensis</i> nas cordas de	
cultivo.....	44
3.1.3.1 – Local 1 (Experimento novembro/2003).....	44
3.1.3.2 – Local 2 (Experimento setembro/2003)	47
3.1.4 – Diferentes biomassas iniciais das mudas (setembro/2004).....	49

3.2 – AVALIAÇÃO DO CULTIVO DE <i>G. DOMINGENSIS</i> AO LONGO DO PERÍODO EXPERIMENTAL NO LOCAL 1 EM DIFERENTES PROFUNDIDADES E TEMPOS DE CULTIVO	52
3.2.1 – Cultivos com duração de uma semana	52
3.2.2 – Cultivos com duração de duas semanas	57
3.3 – AVALIAÇÃO DO CULTIVO DE <i>G. DOMINGENSIS</i> AO LONGO DO PERÍODO EXPERIMENTAL NO LOCAL 2 EM DIFERENTES INTERVALOS DE PROFUNDIDADE E DE TEMPO DE CULTIVO	62
3.3.1 – Cultivos com duração de uma semana	62
3.3.2 – Cultivos com duração de duas semanas	66
3.4 – COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE CRESCIMENTO DE <i>GRACILARIA DOMINGENSIS</i> E <i>GRACILARIA CAUDATA</i> CULTIVADAS EM DIFERENTES PROFUNDIDADES E TEMPOS DE CULTIVO	71
4 – DISCUSSÃO	75
4.1 – DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA DE CULTIVO PARA <i>G. DOMINGENSIS</i>	75
4.2 – AVALIAÇÃO DO CULTIVO DE <i>G. DOMINGENSIS</i> AO LONGO DO TEMPO.....	78
4.3 – COMPARAÇÃO DAS TAXAS DE CRESCIMENTO DE <i>G. DOMINGENSIS</i> E <i>G. CAUDATA</i>	79
5 – RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS PARA UM BOM DESEMPENHO DO CULTIVO	80
6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
CAPÍTULO III.....	86
RESUMO	87
ABSTRACT	88
1 – INTRODUÇÃO.....	89
2 – MATERIAIS E MÉTODOS	93
2.1 – AVALIAÇÃO DE PROTOCOLOS PARA EXTRAÇÃO DE ÁGAR DE <i>G. DOMINGENSIS</i>	94
2.2 – AVALIAÇÃO DE PROTOCOLOS PARA EXTRAÇÃO DE ÁGAR DE <i>G. CAUDATA</i>	96
2.3 – COMPARAÇÃO DO ÁGAR DE <i>G. DOMINGENSIS</i> E <i>G. CAUDATA</i> EXTRAÍDO POR MEIO DE DIFERENTES PROTOCOLOS.....	96
2.4 – AVALIAÇÃO DO ÁGAR DE <i>G. DOMINGENSIS</i> EXTRAÍDO DE TALOS PROVENIENTES DO BANCO NATURAL E DO CULTIVO (LOCAIS 1 E 2) AO LONGO DOS PERÍODOS EXPERIMENTAIS	96
2.5 – PROTOCOLO PARA A QUANTIFICAÇÃO DE 3,6-ANIDROGALACTOSE (MODIFICADO DE MATSUHIRO, 1995 E SAITO, 1997)	97
2.6 – PROTOCOLO PARA QUANTIFICAÇÃO DE SULFATO (MODIFICADO DE SAITO, 1997)	97
2.7 – ANÁLISE DOS DADOS	97
3 - RESULTADOS	98
3.1 – AVALIAÇÃO DE PROTOCOLOS PARA EXTRAÇÃO DE ÁGAR DE <i>G. DOMINGENSIS</i>	98
3.2 – AVALIAÇÃO DE PROTOCOLOS PARA EXTRAÇÃO DE ÁGAR DE <i>G. CAUDATA</i>	101
3.3 – COMPARAÇÃO DO ÁGAR DE <i>G. DOMINGENSIS</i> E <i>G. CAUDATA</i> EXTRAÍDO POR MEIO DE DIFERENTES PROTOCOLOS.....	103
3.4 – AVALIAÇÃO DO ÁGAR DE <i>G. DOMINGENSIS</i> EXTRAÍDO DE MUDAS PROVENIENTES DO BANCO NATURAL COLETADAS AO LONGO DO PERÍODO EXPERIMENTAL.....	105
3.5 – AVALIAÇÃO DO ÁGAR DE <i>G. DOMINGENSIS</i> EXTRAÍDO DE MUDAS PROVENIENTES DO CULTIVO NO LOCAL 1 AO LONGO DO PERÍODO EXPERIMENTAL.....	107

3.6 – AVALIAÇÃO DO ÁGAR DE <i>G. DOMINGENSIS</i> EXTRAÍDO DE MUDAS PROVENIENTES DO CULTIVO NO LOCAL 2 AO LONGO DO PERÍODO EXPERIMENTAL.....	109
4 – DISCUSSÃO	111
4.1 – AVALIAÇÃO DOS PROTOCOLOS PARA EXTRAÇÃO DO ÁGAR DE <i>G. DOMINGENSIS</i>	111
4.2 – AVALIAÇÃO DE PROTOCOLOS PARA EXTRAÇÃO DE ÁGAR DE <i>G. CAUDATA</i>	118
4.3 – COMPARAÇÃO DO ÁGAR DE <i>G. DOMINGENSIS</i> E <i>G. CAUDATA</i> , EXTRAÍDO POR MEIO DE DIFERENTES PROTOCOLOS.....	119
4.4 – AVALIAÇÃO DO ÁGAR DE <i>G. DOMINGENSIS</i> EXTRAÍDO DE MUDAS PROVENIENTES DO BANCO NATURAL E DOS CULTIVOS	121
5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
CAPÍTULO IV.....	130
1 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	131
2 – SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	132
ANEXO 1: DADOS AMBIENTAIS REFERENTES ÀS DATAS DOS EXPERIMENTOS DE CULTIVO REALIZADOS DA ENSEADA DA ARMAÇÃO DO ITAPOCOROY, FORNECIDOS PELO PROJETO OLHO VIVO.	134
ANEXO 2: CAPÍTULO 15. AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE CULTIVO DE <i>GRACILARIA DOMINGENSIS</i> (GRACILARIALES, RHODOPHYTA) NA ENSEADA DE ARMAÇÃO DO ITAPOCOROY, PENHA, SC: 211-226. . IN: BRANCO, J. O. & MARENZI, A. W.C. (ORG.). BASES ECOLÓGICAS PARA UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: ESTUDOS DE CASO EM PENHA, SC. EDITORA DA UNIVALI, ITAJAÍ, SC.	140
ANEXO 3: TESTING OPEN-WATER CULTIVATION TECHNIQUES FOR <i>GRACILARIA DOMINGENSIS</i> (RHODOPHYTA, GRACILARIALES) IN SANTA CATARINA, BRAZIL. <i>J. COASTAL RESEARCH</i> (NO PRELO).....	158

RESUMO GERAL

Inicialmente, os cultivos foram desenvolvidos empiricamente e voltados para a produção de alimento humano. Mais tarde, com a descoberta da utilidade dos ficocolóides, os cultivos passaram a ser realizados também para a produção de biomassa para sua extração. Entretanto, sustentabilidade da indústria de macroalgas reside em grande parte nos cultivos, uma vez que os bancos naturais não são suficientes para atender a demanda crescente. Apesar do ágar estar presente nas paredes celulares de espécies de *Gracilaria*, seu ágar não era explorado comercialmente por apresentar características consideradas inadequadas pela indústria. A descoberta de que a hidrólise alcalina dos grupos sulfato do ágar aumentaria sua força de gel impulsionou a exploração comercial deste gênero. Assim, espécies pertencentes ao gênero *Gracilaria* são cada vez mais empregadas para a produção de ágar alimentício e a sua tem sido consideravelmente aumentada por meio do desenvolvimento de técnicas de cultivo. Embora a exploração de macroalgas no Brasil tenha se iniciado por volta de 1940, seu impacto social e econômico é reduzido. Estudos sobre a viabilidade de cultivo de macroalgas foram realizados ao longo da costa brasileira, com resultados positivos sobre o potencial de algumas espécies. Apesar disso, o país ainda não possui cultivos de macroalgas em escala comercial. Com base nestes antecedentes, o presente trabalho avaliou o desempenho do cultivo no mar de *Gracilaria domingensis* e de *G. caudata* e caracterizou as propriedades do seu ágar (rendimento e qualidade), na Enseada de Armação do Itapocoroy (Penha, Santa Catarina). Os resultados mostraram que o sistema de cultivo testado para ambas espécies é viável na Enseada. O ágar de *G. domingensis* extraído com CaCl_2 apresentou melhores rendimentos e teores de 3,6-anidrogactose, enquanto a extração com NaOH mostrou ser a mais adequada para *G. caudata* e ambas espécies mostraram potencial como matéria-prima para extração de ágar alimentício.

ABSTRACT

Seaweed cultivation in the world began with empirical methodologies to propagate some species utilized as food. Later on, with the discovery of a process to extract and purify agar, it was soon realized that, because of the large volumes needed by a growing industry this activity would only be sustainable if based on mariculture once the natural beds were being depleted. Despite it was known that agar could also be extracted from *Gracilaria* species, besides the traditional species of *Gelidium*, that genus yielded a product with lower value. It was only after the discovery that an alkaline treatment could remove part of the sulphate that reduced the gel strength, and therefore improved the agar quality, that the commercial cultivation of *Gracilaria* species really got momentum and developed continuously. Nowadays, most of the agar produced in the world is based on *Gracilaria* spp. Although the exploitation of seaweeds for agar production in Brazil started as early as 1940, up to now our production is still very modest due to the limited biomass in the natural beds. Several attempts to cultivate local *Gracilaria* spp. have been made, some of which with promising results, but a real commercial mariculture never developed in Brazil so far. Based on that we developed this project aiming at the development of viable techniques to cultivate two species of *Gracilaria* common at the Enseada de Armação do Itapocoroy (Penha, Santa Catarina): *Gracilaria domingensis* and *G. caudata*. We also tested different protocols to better extract the agar from the selected species, comparing their yields and quality. Our results show that with some adaptations of the methodologies for cultivation and agar extraction utilized elsewhere it may be possible to make this a viable alternative.

Capítulo I

Introdução geral

1 – PANORAMA INTERNACIONAL DO CULTIVO DE MACROALGAS

As macroalgas vêm sendo cultivadas há séculos, com registros de atividades de cultivo por volta de 1650 (OHNO & LARGO, 1998). Inicialmente, os cultivos foram desenvolvidos empiricamente e voltados para a produção de alimento humano em países com histórico no consumo de macroalgas marinhas como Japão, Coréia e China (OOHUSA, 1993). Mais tarde, com a descoberta da utilidade dos ficocolóides extraídos das macroalgas (ex. agaranas, carragenanas e alginatos), os cultivos passaram a ser realizados também para a produção de biomassa para extração destes ficocolóides. Atualmente, além destes usos, há também a utilização, em menor escala, de macroalgas para outros fins, como fertilizantes e ração para animais, embora esta biomassa em geral não seja proveniente de cultivos, uma vez que os custos são considerados proibitivos para este tipo de utilização.

Assim, a biomassa algal para os mais diversos usos pode ter duas origens: proveniente de bancos naturais, com a coleta sendo realizada diretamente nos bancos ou nas praias (no caso das algas arribadas) e proveniente de cultivos. A sustentabilidade da indústria de macroalgas reside em grande parte nos cultivos, uma vez que os bancos naturais não são suficientes para atender a crescente demanda que tem sido verificada nas últimas décadas, principalmente para a produção de ficocolóides e para o uso na alimentação (CRITCHLEY, 1997; OLIVEIRA *et al.*, 2000).

A Ásia é o maior mercado consumidor e é também o continente que mais produz macroalgas, sendo a China o maior produtor (5.000.000 de toneladas úmidas, representados principalmente por “kombu”, *Laminaria japonica*), seguido pela Coréia do Sul (800.000 toneladas úmidas, 50% deste total representado por “wakame”, *Undaria pinnatifida*) e pelo Japão (650.000 toneladas úmidas, sendo 75% representado por “nori”, *Porphyra* spp.) (McHUGH, 2003). Os valores pagos por tonelada seca destas macroalgas variam em torno de US\$ 2.800 para “kombu”, US\$ 6.900 para “wakame” e US\$ 16.000 para “nori” (McHUGH, 2003), atestando os altos valores econômicos, especialmente desta última.

A movimentação financeira da indústria de macroalgas está estimada atualmente em cerca de US\$ 5,6 bilhões ao ano, sendo grande parte deste total gerado pelos cultivos, principalmente de gêneros utilizados diretamente na alimentação humana, como as algas pardas *Laminaria* e *Undaria* e a alga vermelha *Porphyra* (WIKFORS & OHNO, 2001; McHUGH, 2003). Os maiores mercados consumidores e produtores destes gêneros são os países asiáticos, notadamente Japão, China e Coréia do Sul (CRITCHLEY, 1997). Entretanto, outros países também

vêm se destacando na produção comercial de macroalgas a partir de cultivos, como Filipinas, Indonésia e Chile, embora nestes países a produção da biomassa algal tenha como destino principal, a extração de seus ficocolóides (McHUGH, 2003). Além disso, alguns países vêm desenvolvendo cultivos de espécies consumidas localmente e embora não atinjam altos valores nem produções, comparáveis aos obtidos naqueles países citados anteriormente, essas algas são importantes para movimentar pequenos mercados, como é o caso de *Cladosiphon okamuranus*, cultivada e consumida no Japão (TOMA, 1997) e de *Caulerpa lentillifera*, cultivada e consumida nas Filipinas e no Japão (TRONO & TOMA, 1997).

Segundo WIKFORS & OHNO (2001), a base técnica para a mudança que ocorreu nos últimos 50 anos da coleta em bancos naturais para o cultivo, passa em geral pela sobre-exploração de alguns bancos, pelo aumento na demanda de matéria-prima e também pelo avanço nas pesquisas científicas, que vieram esclarecer os históricos de vida e as características fisiológicas e ecológicas de crescimento das macroalgas marinhas de interesse econômico. Em vários casos, descobertas científicas que possibilitaram avanços na aquicultura de macroalgas marinhas não foram motivadas por necessidades desta prática, mas por questões ecológicas ou biológicas fundamentais (WIKFORS & OHNO, 2001). Por exemplo, *Porphyra* que teve seu histórico de vida desvendado por K. Drew (DREW, 1954), o que permitiu o desenvolvimento de técnicas adequadas para o cultivo desta importante macroalga comestível, que atualmente movimenta cerca de US\$ 1,5 bilhão só no mercado japonês (McHUGH, 2003).

Assim, além da importância econômica e utilidade das macroalgas como alimento, os polissacarídeos, extraídos da parede celular destes organismos também passaram a apresentar importância, abrindo um novo horizonte na utilização e exploração das macroalgas marinhas. Destes polissacarídeos, ágar e carragenana (extraídas de algas vermelhas) e alginato (extraído de algas pardas), são os ficocolóides que possuem grande utilidade, especialmente nas indústrias alimentícia, têxtil, de cosméticos, de papel, farmacêutica e de biotecnologia (JENSEN, 1993; MATULEWICZ, 1996; McHUGH, 2003).

Apesar do ágar estar presente nas paredes celulares de espécies de *Gracilaria* Greville, seu ágar não era explorado comercialmente por apresentar características consideradas inadequadas pela indústria. Um avanço científico importante, que impulsionou a exploração comercial deste gênero, foi a descoberta de que a hidrólise alcalina dos grupos sulfato do ágar aumentaria sua força de gel (McHUGH, 2003). A partir disso, muitos pesquisadores iniciaram trabalhos com espécies de *Gracilaria* existentes em seus respectivos países, abordando aspectos fisiológicos, ecológicos,

técnicas e metodologias de cultivo e características do ágar, como seu rendimento e sua qualidade, aumentando grandemente a quantidade de informações a respeito deste gênero.

Entretanto, a indústria de ficocolóides apresenta altos e baixos em função da concorrência com outros tipos de gomas, como aquelas de origem vegetal (goma guar, LBG - *locust bean gum* e pectinas); de origem microbiana (goma xantana e goma gelana); de origem animal (gelatina proveniente de pele e ossos de bovinos e ovinos) e aquela artificialmente produzida (carboximetilcelulose – CMC) (FURTADO, 1999). Desta forma, o mercado de ficocolóides é altamente dependente da produção e do preço de outras gomas e por isso, a indústria está sempre buscando processos que diminuam os custos de produção e/ou aumentem os rendimentos gerados por uma dada espécie de macroalga.

Assim, espécies pertencentes ao gênero *Gracilaria* são cada vez mais empregadas para a produção do ágar alimentício. Este gênero encontra-se amplamente distribuído ao redor do mundo, com mais de 100 espécies descritas (OLIVEIRA & PLASTINO, 1994). Sua grande importância econômica tem sido fundamental na seleção de espécies a serem empregadas em sistemas de cultivo, especialmente nos países em desenvolvimento, onde a renda *per capita* é baixa e a mão de obra barata, permitindo a produção de biomassa algal por meio de cultivos a custos mais reduzidos. A disponibilidade desta importante matéria-prima tem aumentado consideravelmente tendo em vista o desenvolvimento crescente de técnicas de cultivo (ARMISEN, 1995). Embora diversos países tenham realizado testes para o cultivo de espécies deste gênero, até o momento poucos obtiveram tanto sucesso nos cultivos em escala comercial, como Taiwan (SHANG, 1976; CHIANG, 1981), China (REN *et al.*, 1984) e Chile (SANTELICES & UGARTE, 1987). Diferentes abordagens metodológicas e espécies foram testadas ao redor do mundo, como por exemplo, *G. chilensis* no Chile, cultivada geralmente, em fundos arenosos (OLIVEIRA *et al.*, 2000), *G. gracilis* na África, cultivada em estruturas suspensas (ANDERSON *et al.*, 2001) e *G. tenuistipitata* na China, cultivada em tanques (CHAOYUAN *et al.*, 1993).

2 – PANORAMA BRASILEIRO DO CULTIVO DE MACROALGAS

Embora a exploração de macroalgas no Brasil tenha se iniciado por volta de 1940, o impacto social e econômico que tal atividade causa ainda é reduzido e está restrito basicamente à região nordeste do país (OLIVEIRA, 1998). Estima-se que o valor envolvido com o recurso “algas marinhas” no país não atinja US\$ 10 milhões anuais, sendo que 80% deste total corresponde ao valor das importações de algas e produtos derivados e o restante, menos de US\$ 2 milhões, corresponde à produção nacional (OLIVEIRA & MIRANDA, 1998).

No litoral do Ceará, o cultivo de espécies de *Gracilaria* vem sendo realizado em parceria com uma comunidade pesqueira, mostrando altas taxas de crescimento e boas perspectivas para expansão (TEIXEIRA *et al.*, 2002), sendo que a produção deste cultivo já está sendo comercializada, embora em pequena escala, para indústrias nacionais de alimentos e de cosméticos (D. TEIXEIRA, com. pess.).

É relevante salientar que quanto à preocupação com a depleção dos bancos naturais de espécies de *Gracilaria*, MIRANDA (2000) indicou que em alguns bancos do litoral nordestino havia sinais claros de sobre-exploração, causado pelo manejo inadequado.

LIMA *et al.* (1981) realizaram experimentos de cultivo de *Gracilaria debilis*¹ e *G. verrucosa* no litoral do Rio Grande do Norte e obtiveram resultados promissores para ambas, mostrando o grande potencial de crescimento em sistemas de cultivo em mar aberto. Já nesta época, CÂMARA NETO (1987) mostrou preocupação com a depleção dos bancos naturais existentes no litoral do Rio Grande do Norte, que já vinham sendo explorados há mais de 10 anos, o que levou à realização de vários experimentos neste estado, embora sem resultados muito promissores para o cultivo em escala comercial. Mais recentemente, experimentos voltaram a ser realizados neste litoral, com cultivos de *G. caudata* e de *G. birdiae* em estuários e em efluentes de cultivos de camarão marinho, respectivamente, apresentando boas perspectivas para o crescimento das algas em ambos sistemas testados (MARINHO-SORIANO *et al.*, 2002a; b).

No litoral baiano, ACCIOLY & PAULA (2002) e ACCIOLY (2004) fizeram uma análise de espécies de macroalgas vermelhas de importância econômica e potencialmente importantes para cultivo e demonstraram a viabilidade de *G. cornea* e de *G. domingensis*, selecionando a primeira como a melhor espécie para o sistema testado.

¹ A nomenclatura aqui citada respeita aquela apresentada nas publicações, sem atualizar eventuais mudanças nomenclaturais.

No litoral de São Paulo, ASSAD-LUDEWIGS (1984) realizou experimentos de cultivo em campo com *G. cervicornis* e *G. verrucosa*, demonstrando que *G. verrucosa* possuía potencial para o cultivo em profundidade de até 4 m. OLIVEIRA *et al.* (1989) testaram o cultivo em tanques de várias espécies de algas vermelhas, sendo três agarófitas (*G. verrucosa*, *G. chilensis* e *Pterocladia capillacea*) e quatro carragenófitas (*Gymnogongrus griffithsiae*, *Chondracanthus teedii*, *Hypnea musciformis* e *Solieria filiformis*). Dentre as espécies testadas, *G. verrucosa* mostrou melhor crescimento, permanecendo em boas condições durante mais de sete meses nos tanques, submetida a diferentes temperaturas. Embora os autores do trabalho tenham concluído que este sistema não seria viável para um cultivo em escala comercial, os experimentos demonstraram que *G. verrucosa* possuía um bom potencial para cultivo.

Mais recentemente iniciou-se o cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no litoral sudeste e nordeste brasileiro, mas ainda não existem estimativas de produção nem de valores movimentados por tal atividade (OLIVEIRA, 2005).

No litoral de Santa Catarina, CUNHA *et al.* (1999) avaliaram o crescimento e o potencial de cultivo de *G. caudata*, *G. domingensis* e *H. musciformis*, espécies abundantes no litoral norte deste estado. O cultivo no mar foi testado para *G. domingensis*, apresentando altas taxas de crescimento e boas perspectivas para maricultura. A partir destes resultados, PAZETO (2001) realizou experimentos de cultivo com *G. domingensis* em balsa e no laboratório ao longo do ano, neste mesmo local, demonstrando que as taxas de crescimento variaram entre 2,7 e 18,1 % dia⁻¹, corroborando os dados de CUNHA *et al.* (1999), de que a espécie possuía um grande potencial para cultivo.

Apesar da existência de inúmeros estudos sobre a viabilidade de sistemas de cultivo de macroalgas ao longo da costa brasileira e o registro de resultados positivos sobre o potencial de cultivo, cabe salientar que no Brasil ainda não existem sistemas de cultivo de macroalgas em escala comercial.

Um dos aspectos mais importantes ao se analisar a viabilidade do cultivo de uma espécie, além da escolha da macroalga, é a seleção dos locais mais adequados para o desenvolvimento para tal atividade. Em geral, espera-se que o local seja conveniente para manter as estruturas de cultivo e que a espécie de interesse esteja presente. Isso porque a presença indica que a espécie está bem adaptada às condições hidrológicas do local, aumentando as chances do cultivo ser bem-sucedido, como citado por LIMA *et al.* (1981) e OLIVEIRA & ALVEAL (1990), que afirmaram o bom potencial para cultivo de linhagens de *Gracilaria* spp. selecionadas nos locais de sua ocorrência natural. Ainda segundo LIMA *et al.* (1981), com relação à escolha do

local mais adequado ao cultivo, as características ambientais do local onde a espécie será cultivada devem ser semelhantes às aquelas encontradas em seu local de origem. Problemas que poderão surgir com a aclimação de uma espécie a um novo local, baixas taxas de rendimento ou altas taxas de predação, por exemplo, podem aumentar os custos ou mesmo inviabilizar o cultivo. Outros aspectos que devem ser levados em consideração são o mercado consumidor que deve absorver esta produção e os custos de transporte e de armazenagem do produto.

3 – TÉCNICAS DE CULTIVO DE *GRACILARIA*

Em relação à metodologia empregada para cultivar *Gracilaria* em outros países, na maioria dos experimentos realizados até o momento, o cultivo foi feito levando-se em consideração a habilidade do gênero de se propagar vegetativamente. Muitas vezes as linhagens mais produtivas são replicadas vegetativamente propiciando uma seleção clonal. Apesar disso, em algumas situações, um cultivo comercial não pode ser baseado somente em mudas fornecidas pelo banco natural, devido ao risco de depleção do mesmo, sendo necessário desenvolver outras formas de se obter biomassa para manter os cultivos. Desta forma, o cultivo a partir de esporos mostra-se como uma alternativa viável, aumentando a biomassa disponível e contribuindo para a variabilidade genética da espécie (ALVEAL *et al.*, 1997). Evidentemente, tanto o cultivo a partir de esporos como os cultivos por propagação vegetativa possuem vantagens e desvantagens (OLIVEIRA & ALVEAL, 1990), sendo sugerida a utilização de ambas metodologias simultaneamente. Entretanto, antes do investimento em cultivo por meio de esporos, que envolve mais tecnologia e custos, faz-se necessário um estudo sobre a viabilidade de cultivo da espécie no local de interesse, que pode ser efetuado a partir do cultivo de fragmentos.

Diversas formas foram testadas ao redor do mundo para cultivar *Gracilaria* a partir de fragmentos: cultivos flutuantes, em balsas, gaiolas (GUANZON JR & CASTRO, 1992) e *long lines*; cultivos semi-flutuantes, em balsas (LIMA *et al.*, 1981; RINCONES, 1989); cultivos fixos a determinada profundidade (SANTELICES *et al.*, 1993) ou com as mudas plantadas diretamente no sedimento e finalmente, cultivos em tanques escavados em terra (CÂMARA NETO, 1987; MARINHO-SORIANO *et al.*, 2002b). Uma boa revisão sobre as diversas técnicas de cultivo pode ser encontrada em OLIVEIRA *et al.* (2000).

No Brasil, CÂMARA NETO (1987) testou em tanques utilizados para o cultivo de peixes, cordas de diferentes materiais para cultivar os talos de *G. verrucosa* (= *G.*

birdiae, E. OLIVEIRA, com. pess.) e *G. cornea*, em estruturas fixas ao substrato. Nestes experimentos, as cordas de sisal e de *nylon* com mudas amarradas e as cordas de polietileno com mudas inseridas na trama da corda de cultivo apresentaram os melhores resultados, com taxas de crescimento variando entre 4 e 8 %. dia^{-1} . MARINHO-SORIANO *et al.* (2002b) testaram o cultivo semi-flutuante em pequenas balsas, com talos de *Gracilaria* sp. inseridos na trama da corda de cultivo, em efluentes de camarões e obtiveram taxas de crescimento variando entre 1,8 e 8,8 %. dia^{-1} e uma produção estimada de 23,9 t. $\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em peso seco.

Outros experimentos têm testado a influência do espaçamento entre ramos e a biomassa inicial a ser cultivada. SANTELICES *et al.* (1993) utilizaram diferentes biomassas iniciais e espaçamentos entre as mudas de *G. chilensis* e concluíram que baixas biomassas dispostas em pequenos intervalos cresceram mais do que mudas com biomassas maiores e dispostas em espaçamentos maiores. Outros autores também observaram resultados similares (GUANZON JR & CASTRO, 1992; RINCONES, 1989), com taxas de crescimento mais altas em densidades mais baixas, mas por outro lado, a produção foi maior nas densidades mais altas.

Como pode ser observado, diferentes técnicas de cultivo têm sido testadas para espécies de *Gracilaria*, muitas das quais semelhantes às empregadas no cultivo de *Kappaphycus/Eucheuma* (SMITH *et al.*, 1984), baseando-se na propagação vegetativa dos talos e fixação destes às cordas de cultivo. Com relação à maneira como as mudas são fixadas às cordas de cultivo, duas formas têm sido citadas na literatura: a técnica de amarração e a de inserção. No que diz respeito à disposição das cordas, em geral, os cultivos de *Gracilaria* são planejados para serem realizados em uma única profundidade (cultivos horizontais, fixos ou flutuantes) (SANTELICES *et al.*, 1993; ACCIOLY, 2004), entretanto alguns autores têm sugerido o cultivo vertical, como forma de aumentar a produtividade dentro de uma dada área (WAKIBIA *et al.*, 2001).

4 – OBJETIVOS

4.1 – Objetivos gerais

1 - Avaliar o potencial de cultivo de *Gracilaria domingensis* e de *Gracilaria caudata* na Enseada de Armação do Itapocoroy, Município de Penha, no Estado de Santa Catarina.

2 – Avaliar a quantidade (rendimento) e a qualidade (teor de 3,6-anidrogactose e sulfato) no ágar de *Gracilaria domingensis* e de *Gracilaria caudata* procedentes de populações naturais e de cultivo.

5 – ÁREA DE ESTUDO

A Enseada de Armação do Itapocoroy localiza-se no Município de Penha, Santa Catarina (26°47'S – 48°37'W, Fig. 1), caracterizando-se por ser uma região que possui um padrão de ventos fracos durante a maior parte do tempo, com maior frequência de ventos provenientes de oeste, nordeste e sudoeste. Recebe esporadicamente ondulações provenientes de leste, popularmente denominadas de “lestadas”, sendo este o sistema mais energético que atua na dinâmica sedimentar da enseada, danificando ocasionalmente as estruturas de cultivo de mexilhões. As correntes na região apresentam normalmente valores inferiores a 0,1 m.s⁻¹ (SCHETTINI *et al.*, 1999).

O Município de Penha é o maior centro de mitilicultura catarinense, cultivando principalmente o mexilhão *Perna perna* e no ano 2000 produziu 3.500 toneladas de mariscos o que correspondeu a 1/3 da produção nacional (MARENZI & BRANCO, 2006), sendo a Enseada de Armação do Itapocoroy um dos maiores parques de cultivo do Município.

Esta enseada foi escolhida por apresentar várias características favoráveis tais como: abundância de *G. domingensis* e de *G. caudata*, monitoramento semanal das características físico-químicas da enseada, realizado pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI), entrosamento entre a Universidade e a Associação de Maricultores, aptidão natural de parte da população para maricultura e pelo apoio logístico fornecido pelo Centro Experimental de Maricultura da UNIVALI (Campus V).

Figura 1: Localização geográfica da Enseada de Armação do Itapocoroy (Município de Penha) no litoral norte do Estado de Santa Catarina, selecionada para os experimentos de cultivo de espécies de *Gracilaria*.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, M. C. 2004. *Desenvolvimento da maricultura artesanal de macroalgas no baixo-sul baiano*. Tese de doutorado. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 164p.
- ACCIOLY, M. C. & PAULA, E. J. 2002. Seleção de rodófitas com potencial econômico para cultivo na região do baixo-sul baiano. *In: IX Reunião Brasileira de Ficologia*, Santa Cruz, Aracruz, Espírito Santo. 02 a 06 de março de 2002. Sociedade Brasileira de Ficologia & Fundação Ecossistemas do Espírito Santo: 107.
- ALVEAL, K.; ROMO, H.; WERLINGER, C. & OLIVEIRA, E. C. 1997. Mass cultivation of the agar producing alga *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta) from spores. *Aquaculture* (Holanda) **148**: 77-83.
- ANDERSON, R. J.; BOOTHROYD, C. J. T.; KEMP, F. A. & ROTHMAN, M. D. 2001. Open-water cultivation of *Gracilaria* in South Africa: Saldanha bay or St Helena Bay? *Proc. 17th Int. Seaw. Symp.*: 35-40.
- ARMISEN, R. 1995. World-wide use and importance of *Gracilaria*. *J. App. Phycol.* **7**: 231-243.
- ASSAD-LUDEWIGS, I. Y. 1984. *Estudos sobre a biologia de uma espécie de Gracilaria (Rhodophyta, Gigartinales) do litoral norte do estado de São Paulo, Brasil*. Tese de doutorado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 190 p.
- CÂMARA NETO, C. 1987. Seaweed culture in Rio Grande do Norte, Brazil. *Hydrobiologia* **151/152**: 363-367.
- CHAOYUAN, W.; LI, R.; LIN, G.; WEN, Z.; DONG, L.; ZHANG, J.; HUANG, X.; WEI, S. & LAN, G. 1993. Some aspects of the growth of *Gracilaria tenuistipitata* in pond culture. *Hydrobiologia* **260/261**: 339-343.
- CHIANG, Y. M. 1981. Cultivation of *Gracilaria* (Rhodophycophyta, Gigartinales) in Taiwan. *Proc. 10th Int. Seaw. Symp.*: 569-574.

- CRITCHLEY, A. T. 1997. Introduction: Seaweed Resources. *In*: OHNO, M. & CRITCHLEY, A. T. (eds). Seaweed cultivation and marine ranching. 2nd ed. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 1-6pp.
- CUNHA, S. R.; PAZETO, F. D.; CRESTANI, D. E. V.; LIMA, G. B.; NASCIMENTO, J.; SANT'ANNA, F.; MANZONI, G. C.; MARENZI, A. W. C. & MAFRA, L. L. 1999. Potencial de crescimento de macroalgas cultiváveis presentes na Enseada de Armação do Itapocoroy (Penha, SC): avaliação preliminar. *Notas Téc. Facimar* **3**: 17-25.
- DREW, K. M. 1954. Life-history of *Porphyra*. *Nature* **173**: 1243.
- FURTADO, M. R. 1999. Alta lucratividade atrai investimentos em hidrocolóides. *Química e derivados* (novembro): 20-29.
- GUANZON JR, N. G. & CASTRO, T. R. 1992. The effects of different stocking densities and some abiotic factors on cage culture of *Gracilaria* sp. (Rhodophyta, Gigartinales). *Bot. Mar.* **35**: 239-243.
- HANISAK, M. D. 1998. Seaweed cultivation: global trends. *World Aquaculture* **29**: 18-21.
- JENSEN, A. 1993. Present and future needs for algae and algal products. *Hydrobiologia* **260/261**: 15-23.
- LIMA, A. M.; CÂMARA NETO, C.; OLIVEIRA, E. C. & ARAÚJO, R. A. 1981. Cultivo experimental de *Hypnea musciformis* e *Gracilaria* sp. em áreas protegidas por antigas linhas de costa (recifes) no litoral do Rio Grande do Norte. *In*: Projeto Algas. Estado do Rio Grande do Norte. Série: Brasil. SUDENE. *Estudos de Pesca* **(9)**: 97-107.
- MARENZI, A. W. C. & BRANCO, J. O. 2006. O cultivo de mexilhão *Perna perna* no município de Penha, SC. *In*: BRANCO, J. O. & MARENZI, A. W. C. (org.). Bases ecológicas para um desenvolvimento sustentável: estudos de caso em Penha, SC. Editora da UNIVALI. Itajaí, Santa Catarina. 227-244pp.
- MARINHO-SORIANO, E.; MOREIRA, W. S. C. & CARNEIRO, M. A. A. 2002a. Estudo sobre o cultivo de *Gracilaria* (Rhodophyta, Gracilariaceae) em estuário. *In*: IX Reunião Brasileira de Ficologia, Santa Cruz, Aracruz, Espírito Santo. 02 a 06 de

- março de 2002. Sociedade Brasileira de Ficologia & Fundação Ecosystemas do Espírito Santo: 103.
- MARINHO-SORIANO, E.; MORALES, C. & MOREIRA, W. S. C. 2002b. Cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta) in shrimp pond effluents in Brazil. *Aquaculture Research* **33**: 1081-1086.
- MATULEWICZ, M. C. 1996. Polisacáridos de algas rojas: agar. *In*: FERRARIO, M. & SAR, E. (eds). Macroalgas de interés económico. Cultivo, manejo, industrialización. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 111-133pp.
- McHUGH, D. J. 2003. A guide to the seaweed industry. *FAO Fisheries Technical Paper* N°. 441. Rome. 105p.
- MIRANDA, G. E. C. 2000. *Avaliação do impacto da exploração (simulada) da alga agarófito Gracilaria caudata J. Agardh (Rhodophyta) no litoral do Estado da Paraíba*. Dissertação de mestrado. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 107 p.
- OHNO, M. & LARGO, D. 1998. The seaweed resources of Japan. *In*: CRITCHLEY, A. T. & OHNO, M. (eds). Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 1-14pp.
- OLIVEIRA, E. C. 2005. Considerações sobre o impacto ambiental do cultivo da alga *Kappaphycus alvarezii* na costa sudeste do Brasil. *Bol. Ficol.* **24** (5).
- OLIVEIRA, E. C. & ALVEAL, K. 1990. The mariculture of *Gracilaria* (Rhodophyta) for the production of agar. *In*: AKATSUKA, I. (ed). Introduction to Applied Phycology. SPB Academic Publishing. Netherlands. 553-564pp.
- OLIVEIRA, E. C. & MIRANDA, G. E. C. 1998. Aspectos sociais e econômicos da exploração de algas marinhas no Brasil. *In*: PAULA, E. J.; CORDEIRO-MARINO, M.; SANTOS, D. P.; PLASTINO, E. M.; FUJII, M. T. & YOKOYA, N. S. (eds). Anais do IV Congresso Latino-americano, II Reunião Ibero-americana e VII Reunião Brasileira de Ficologia, Caxambu - MG. São Paulo: Sociedade Ficológica da América Latina e Caribe **2**: 149-156.
- OLIVEIRA, E. C. & PLASTINO, E. M. 1994. Gracilariaceae. *In*: AKATSUKA, I. (ed). Biology of economic seaweeds. SPB Academic Publishing. Netherlands. 185-226pp.

- OLIVEIRA, E.C.; ALVEAL, K. & ANDERSON, R. 2000. Mariculture of the agar-producing Gracilarioid red algae. *Reviews in Fisheries Science* **8**(4): 345-378.
- OLIVEIRA, E. C.; PAULA, E. J. & BERCHEZ, F. A. S. 1989. Essays on the cultivation of tropical red seaweeds in tanks. *In*: OLIVEIRA, E. C. & KAUTSKY, N. (eds). Workshop Cultivation of seaweeds in Latin America. Universidade de São Paulo - Int. Foundation for Science. São Sebastião, São Paulo. 79-87pp.
- OOHUSA, T. 1993. The cultivation of *Porphyra* "Nori". *In*: OHNO, M. & CRITCHLEY, A. T. (eds). Seaweed cultivation and marine ranching. 2nd ed. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 57-73pp.
- PAZETO, F. D. 2001. *Cultivo experimental de Gracilaria domingensis (Gracilariaceae, Rhodophyta) e avaliação do seu teor de ágar*. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí. Santa Catarina. 34p.
- REN, G. Z.; WANG, J. C. & CHEN, M. Q. 1984. Cultivation of *Gracilaria* by means of low rafts. *Proc. 11th Int. Seaw. Symp*: 72-76.
- RINCONES, R. E. 1989. Experimental cultivation of an agarophyte alga: *Gracilaria cornea* in the Northwest coast of Venezuela. *In*: OLIVEIRA, E. C. & KAUTSKY, N. (eds). Workshop Cultivation of seaweeds in Latin America. Universidade de São Paulo - Int. Foundation for Science. São Sebastião, São Paulo. 65-67pp.
- SANTELICES, B. & UGARTE, R. 1987. Production of Chilean *Gracilaria*: problems and perspectives. *Proc. 12th Int. Seaw. Symp.*: 295-299.
- SANTELICES, B.; WESTERMEIER, R. & BOBADILLA, M. 1993. Effects of stock loading and planting distance on the growth and production of *Gracilaria chilensis* in rope culture. *J. App. Phycol.* **5**: 517-524.
- SCHETTINI, C. A. F.; CARVALHO, J. B. L. & TRUCCOLO, E. C. 1999. Aspectos hidrodinâmicos da Enseada da Armação de Itapocoroy, SC. *Notas Téc. Facimar* **3**: 99-109.
- SHANG, Y. C. 1976. Economic aspects of *Gracilaria* farming in Taiwan. *Aquaculture* **8**: 1-7.

- SMITH, A. H.; NICHOLS, K. & McLACHLAN, J. 1984. Cultivation of seamoss (*Gracilaria*) in St. Lucia, West Indies. *Hydrobiologia* **116/117**: 249-251.
- TEIXEIRA, D. I. A.; BEZERRA, C. A. B.; CHAVES, R. V. O.; MASI NETO, T. & SOUZA, B. W. S. 2002. Cultivo da alga marinha *Gracilaria* sp. nas praias de Flexeiras e Guagiru – Ceará – Brasil. In: IX Reunião Brasileira de Ficologia, Santa Cruz, Aracruz, Espírito Santo. 02 a 06 de março de 2002. Sociedade Brasileira de Ficologia & Fundação Ecossistemas do Espírito Santo: 95.
- TOMA, T. 1997. Cultivation of the brown alga, *Cladosiphon okamuranus* “Okinawa-mozuku”. In: OHNO, M. & CRITCHLEY, A. T. (eds). Seaweed cultivation and marine ranching. 2nd ed. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 51-56pp.
- TRONO, G. & TOMA, T. 1997. Cultivation of the green alga *Caulerpa lentillifera*. In: OHNO, M. & CRITCHLEY, A. T. (eds). Seaweed cultivation and marine ranching. 2nd ed. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 17-23pp.
- WAKIBIA, J. G.; ANDERSON, R. J. & KEATS, D. W. 2001. Growth rates and agar properties of three gracilarioids in suspended open-water cultivation in St. Helena Bay, South Africa. *J. App. Phycol.* **13**: 195-207.
- WIKFORS, G. H. & OHNO, M. 2001. Impact of algal research in aquaculture. *J. Phycol.* **37**: 968-974.

Capítulo II

***Cultivo de Gracilaria domingensis
e de Gracilaria caudata na Enseada de Armação do
Itapocoroy (Penha, Santa Catarina)***

RESUMO

O gênero *Gracilaria* é hoje a principal fonte de matéria-prima para a produção de ágar além de seu uso como alimento humano. O gênero está representado no Brasil por cerca de vinte espécies, algumas com bom potencial para a maricultura e utilização industrial. No entanto, apesar de várias tentativas de cultivo, não passamos da escala piloto e ainda exploramos os bancos naturais. No litoral de Santa Catarina ocorrem quatro espécies de *Gracilaria*, das quais as mais abundantes são *G. domingensis* e *G. caudata*. Este trabalho procurou avaliar a viabilidade do cultivo destas duas espécies testando várias alternativas metodológicas, tais como posição dentro da enseada, profundidade, tempo de cultivo, técnicas de fixação das mudas aos cabos de cultivo, espaçamento entre mudas e biomassa inicial. Os experimentos foram feitos na Enseada de Armação do Itapocoroy, Município de Penha, Santa Catarina. *G. domingensis* apresentou melhor desempenho de cultivo em profundidades de até 2 m, em intervalos de 1 a 2 semanas de cultivo, com espaçamento entre mudas maior que 5 cm e mudas de até 5 g, tanto através da inserção como da amarração das mudas nas cordas de cultivo. As taxas de crescimento relativo de *G. domingensis* e *G. caudata* ao longo de 4 semanas demonstram que ambas espécies podem ser potencialmente cultivadas na enseada, sendo que em condições climáticas apropriadas, com mar calmo e sem vento forte, ambas mostraram crescimento similar, permitindo estimativas de produtividade semelhantes às aquelas recomendadas para cultivo do tipo familiar. O presente estudo reúne informações originais e fundamentais que servirão de base para o estabelecimento do cultivo de *G. domingensis* e *G. caudata* no litoral sul do Brasil, indicando que através de metodologias adequadas ambas espécies apresentam perspectivas favoráveis, pelo menos de um ponto de vista tecnológico, para se iniciar um cultivo comercial.

ABSTRACT

The genus *Gracilaria* is today the main source of raw material for agar production in the world, besides its utilization as human food. The genus is represented in Brazil by around 20 species, some of that with good potential for mariculture and industrial exploitation. Nevertheless, although several attempts to mariculture *Gracilaria* in Brazil none succeed at a commercial level we still utilize natural populations as source of raw material for the local industry. Four species of *Gracilaria* have been identified in the Santa Catarina littoral, which *G. domingensis* and *G. caudata* are the most abundant and promising ones. In this chapter we tested several methodological approaches such as position in the bay, cultivation depth, time in the sea, attachment techniques of the cuttings on the rope, number and initial biomass of cuttings per meter of rope, aiming the development of a successful methodology to mariculture of both species at Enseada de Armação do Itapocoroy, Penha Municipality, Santa Catarina State. In general, *G. domingensis* presented better performance at cultivation depth up to 2 m, for periods of 1-2 weeks in the sea, with distances between cuttings longer than 5 cm, with inocula up to 5 g and both tested attachment techniques of the cuttings. The relative growth rates of *G. domingensis* and *G. caudata* for periods of four weeks indicated that both species are potencial to be cultivated in the bay, and that with the appropriate conditions of weather, calm sea and absence of strong winds, they showed a similar performance and attained a productivity acceptable for small enterprises. This study is one of the few works that evaluated the cultivation performance of *G. domingensis* and *G. caudata* in the Brazilian Southern coast exhibiting that the established cultivation technologies as well as selected species could be utilized to plan a pilot cultivation system aiming a commercial level.

1 – INTRODUÇÃO

As macroalgas marinhas são ecologicamente importantes por constituírem o primeiro elo da cadeia trófica nos ambientes onde ocorrem e possuem importância para o homem por serem utilizadas há séculos como fonte de alimento, ração animal e fertilizantes (GRAHAM & WILCOX, 2000). Nos países com tradição na sua utilização na alimentação, o cultivo das espécies consumidas logo se tornou uma necessidade, fazendo com que a atividade se iniciasse de forma empírica, com registros que datam do século XVII (HANISAK, 1998; OHNO & LARGO, 1998). Outra utilidade das macroalgas marinhas para o homem refere-se aos seus ficocolóides. As agaranas e carragenanas, extraídas de algas vermelhas, e os alginatos, extraídos de algas pardas, são os ficocolóides que apresentam importância econômica, sendo utilizados nas indústrias alimentícia, têxtil, de cosméticos, de papel, farmacêutica e de biotecnologia (JENSEN, 1993; MATULEWICZ, 1996; McHUGH, 2003).

Levando-se em consideração todos os aspectos da exploração econômica deste recurso marinho, a indústria de macroalgas gera cerca de US\$ 6 bilhões/ano, dos quais aproximadamente US\$ 5 bilhões são representados por produtos alimentícios para consumo humano (HANISAK, 1998). A Ásia é sem dúvida a maior produtora, mas América do Sul e África vêm despontando na produção de macroalgas marinhas para consumo humano e para a extração de ficocolóides (OLIVEIRA *et al.*, 2000; WIKFORS & OHNO, 2001).

A maior parcela da produção de macroalgas para consumo humano é proveniente de cultivos, produzidos principalmente na China, Coreia e Japão. As algas como um grupo representam a terceira maior produção em aquicultura, após peixes de água doce e moluscos (FAO, 2004), o que demonstra sua grande importância social e econômica.

Dentre as macroalgas que apresentam importância econômica, encontra-se o gênero *Gracilaria* Greville, cujas espécies são utilizadas para extração de ágar, consumidas diretamente como alimento humano ou empregadas como ração para animais cultivados (peixes, ouriços e moluscos) (AJISAKA & CHIANG, 1993; CHOW *et al.*, 2001). Este gênero é amplamente distribuído ao redor do mundo, com mais de 100 espécies descritas (OLIVEIRA & PLASTINO, 1994), sendo bastante avaliado em sistemas de cultivos (OLIVEIRA *et al.*, 2000), especialmente nos países em desenvolvimento, onde esta atividade se apresenta como uma alternativa econômica para as comunidades litorâneas.

Como os estoques naturais não são suficientes para manter níveis sustentáveis de biomassa de *Gracilaria*, tanto para consumo direto como para matéria-prima para a indústria de ficocolóides (OLIVEIRA *et al.*, 2000), pesquisadores de vários países têm desenvolvido diferentes técnicas para o cultivo de espécies deste gênero, com metodologias que dependem tanto da espécie como do local escolhido para cultivá-la.

Embora o cultivo do gênero *Gracilaria* tenha sido testado em vários países até o momento, somente alguns obtiveram sucesso nesta atividade e passaram para uma escala comercial, especialmente na Ásia (China, Indonésia, Tailândia e Vietnã), África (Namíbia) e América do Sul (Chile) (HANISAK, 1998; OLIVEIRA *et al.*, 2000; WAKIBIA *et al.*, 2001). Das espécies cultivadas destacam-se *G. tenuistipitata*, *G. gracilis* e *G. chilensis* (OLIVEIRA *et al.*, 2000). O caso mais expressivo de sucesso do cultivo de uma espécie de *Gracilaria* é sem dúvida, o do Chile, onde no ano de 2002 foram produzidas 126.183 toneladas de *G. chilensis*, sendo que o cultivo respondeu por quase 57% deste total (ALVEAL, 2006).

Diferentes abordagens experimentais e/ou comerciais têm sido desenvolvidas para o cultivo de *Gracilaria* (OLIVEIRA *et al.*, 2000). Cultivos em laboratório podem responder a questões fisiológicas, ecológicas e biológicas e também servir como meio para selecionar linhagens com características de interesse econômico. Cultivos em tanques, embora sejam extremamente produtivos, possuem custos muito elevados, sendo indicados por alguns autores somente como forma de aumentar a biomassa de uma linhagem de interesse (OLIVEIRA *et al.*, 1989), servindo como ponte entre o laboratório e o mar. Cultivos em “piscinas”, normalmente escavadas em regiões estuarinas, são utilizados com sucesso em algumas partes do mundo, como na China (OLIVEIRA & ALVEAL, 1990), contudo, tal sistema de cultivo não obteve sucesso no Brasil. Cultivos no mar exigem menor investimento financeiro, quando comparados aos sistemas de cultivos já mencionados, mas não permitem o controle de fatores ambientais.

Segundo WESTERMEYER *et al.* (1993), a maior dificuldade do cultivo no mar está exatamente em obter uma produção sustentável em um ambiente que muda constantemente. As produtividades obtidas em diversos estudos mostram que, em geral, os cultivos realizados no mar apresentaram valores mais baixos, quando comparados a sistemas de cultivo em tanques e “piscinas” (OLIVEIRA & ALVEAL, 1990), mas tal produtividade é compensada pela menor necessidade de investimento financeiro. Embora exista esta imprevisibilidade ambiental, o cultivo de diversas espécies de macroalgas está bem estabelecido em muitos países, mostrando que a atividade de maricultura de macroalgas pode ir além de uma fonte alternativa de

renda, uma vez que em vários casos tornou-se um dos ramos mais bem sucedidos da maricultura mundial (FAO, 2004).

No litoral brasileiro estão presentes várias macroalgas de interesse econômico e embora muitos experimentos tenham sido feitos, especialmente com espécies de *Gracilaria* (LIMA *et al.*, 1981; CÂMARA NETO, 1987; OLIVEIRA *et al.*, 1989; CUNHA *et al.*, 1999; PAZETO, 2001; ACCIOLY & PAULA, 2002; MARINHO-SORIANO *et al.*, 2002a, b; TEIXEIRA *et al.*, 2002; ACCIOLY, 2004), o país ainda não conta com cultivos comerciais. Atualmente, alguns dos experimentos de cultivo que estão em desenvolvimento no Brasil são bastante promissores, como o de *G. cornea* cultivada em sistema aberto na Bahia (ACCIOLY, 2004), de *G. birdiae* cultivada em efluentes de camarão no Rio Grande do Norte (MARINHO-SORIANO *et al.*, 2002b) e de *Gracilaria* sp. no Ceará (TEIXEIRA *et al.*, 2002), demonstrando que o cultivo de macroalgas marinhas pode se tornar uma alternativa para aumentar a renda de comunidades pesqueiras litorâneas.

Gracilaria domingensis (Sonder ex Kützinger) Dickie ocorre no litoral brasileiro desde o Estado do Ceará até Santa Catarina (OLIVEIRA, 1977). Esta espécie possui importância do ponto de vista econômico como alimento humano, já que tem sido coletada esporadicamente e exportada para o mercado alimentício japonês (OLIVEIRA, 1998). Embora esta espécie tenha sido testada no sistema de cultivo-piloto no Estado da Bahia (ACCIOLY, 2004), e em estudos preliminares realizados em Santa Catarina por CUNHA *et al.* (1999) e PAZETO (2001), a espécie ainda não teve sua viabilidade de cultivo avaliada.

Gracilaria caudata J. Agardh distribui-se desde o Estado do Maranhão até Santa Catarina (OLIVEIRA, 1977; BELLORIN, 2002). Apesar de ser coletada em grandes quantidades no nordeste brasileiro para extração de ágar alimentício destinado ao mercado nacional (OLIVEIRA & MIRANDA, 1998), existem poucas informações sobre o cultivo desta espécie. Estudos realizados por ASSAD-LUDEWIGS (1984) e por OLIVEIRA *et al.* (1989) e mais recentemente por MARINHO-SORIANO *et al.* (2002a), mostraram que a espécie possui potencial para cultivo, entretanto, não existem experimentos que avaliem a sua viabilidade de cultivo no sul do Brasil.

Para a avaliação da viabilidade de produção de macroalgas em sistemas de cultivos suspensos no mar, alguns aspectos importantes relacionados à metodologia devem ser analisados, como por exemplo, a técnica para fixação das mudas às cordas de cultivo, o tamanho das mudas e o espaçamento entre elas, selecionando aquelas metodologias onde a relação custo/benefício é a melhor. Além disso, um aspecto importante a ser avaliado diz respeito à utilização de metodologias que permitam

maximizar a produção dentro de uma área, como por exemplo, o aproveitamento da coluna d'água (cultivos verticais), em oposição aos cultivos realizados em uma única profundidade (cultivos horizontais). Outro aspecto que deve ser levado em consideração é a influência das variações sazonais nas condições ambientais sobre as taxas de crescimento e a produtividade do sistema de cultivo. Todos estes aspectos são importantes quando se avalia a viabilidade de cultivo de uma espécie e a resposta a estas diferentes abordagens metodológicas dependerá da espécie estudada e também do local selecionado para a implantação do cultivo.

Além disso, como em qualquer atividade de aquicultura, para que o cultivo de macroalgas alcance sucesso é importante levar em consideração a qualidade ambiental do local do cultivo, já que a sustentabilidade econômica da atividade é totalmente dependente das características ambientais. Outro aspecto importante é o engajamento da comunidade local com tal atividade (ACCIOLY, 2004).

Assim, o cultivo de *G. domingensis* na Enseada de Armação do Itapocoroy, litoral norte do Estado de Santa Catarina, foi planejado a partir dos estudos preliminares desenvolvidos por CUNHA *et al.* (1999) e por PAZETO (2001), que demonstraram que a espécie possuía um bom desempenho em cultivo. Além de *G. domingensis*, *G. caudata* foi selecionada em função de sua possível utilização econômica, sua presença na Enseada e pela falta de informações sobre o cultivo desta espécie no litoral sul brasileiro.

A Enseada de Armação do Itapocoroy foi escolhida por apresentar algumas particularidades, além da presença das duas espécies: grande produção de mexilhões cultivados (por este motivo, é monitorada diariamente pelo Laboratório de Educação Ambiental da Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI), facilidades logísticas oferecidas pelo Laboratório de Tecnologia de Cultivo (Campus V da UNIVALI), localizado nesta Enseada e o engajamento da comunidade local com a maricultura.

Desta forma, este trabalho teve como objetivo geral avaliar o efeito de diferentes condições e técnicas de cultivo sobre as taxas de crescimento de *G. domingensis* e *G. caudata* cultivadas na Enseada de Armação do Itapocoroy, em dois locais, tendo como objetivos específicos:

- I – Avaliar diferentes intervalos de profundidade e de tempo de cultivo para *G. domingensis*;
- II – Analisar diferentes técnicas e materiais de fixação das mudas de *G. domingensis* às cordas de cultivo em três intervalos de profundidade;
- III – Testar diferentes espaçamentos entre mudas de *G. domingensis* nas cordas de cultivo em três intervalos de profundidade;

- IV – Avaliar diferentes biomassas iniciais de *G. domingensis* em diferentes intervalos de profundidade;
- V – Analisar as taxas de crescimento de *G. domingensis* ao longo do período experimental em dois locais, em diferentes intervalos de profundidade e de tempo de cultivo;
- VI - Comparar as taxas de crescimento de mudas de *G. domingensis* e *G. caudata* cultivadas em diferentes intervalos de profundidade e de tempo de cultivo.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 – Os locais de cultivo

As algas foram coletadas em um banco natural raso, localizado na Ponta da Cruz, na Enseada de Armação do Itapocoroy (Penha, SC; Fig. 1). Os experimentos de cultivo foram realizados em dois locais na Enseada: Local 1 e Local 2. O Local 1 era mais interno, próximo à praia e dentro da área de cultivo de mexilhões, menos sujeito a ressacas e a correntes mais fortes. O Local 2 estava situado na porção externa da Enseada, mais distante da praia, com pouca atividade de maricultura, caracterizando-se por ser menos abrigado, quando comparado ao Local 1, e por isso mais sujeito a ressacas, correntes mais fortes e “lestadas” (ventos fortes vindos de leste) (Fig. 1).

Os dados ambientais diários (direção e força do vento e condição do mar) para a Enseada foram gentilmente cedidos pelo Laboratório de Educação Ambiental da UNIVALI para o período de 05/09/02 a 19/03/04 (Anexo 1).

Figura 1: Localização geográfica da Enseada de Armação do Itapocoroy no litoral norte do Estado de Santa Catarina, indicando a posição do banco natural e dos Locais 1 e 2 de cultivo.

2.2 – Estrutura de cultivo

O cultivo de *G. domingensis* e *G. caudata* foi planejado para empregar a mesma estrutura de *long line* utilizada no cultivo dos mexilhões, pelo fato de os maricultores estarem habituados a lidar com este tipo de estrutura e também para otimizar o uso da área, evitando conflitos na sua utilização. As cordas de cultivo de *Gracilaria* constituíram-se em estruturas em forma de “U” com 3 metros de comprimento de cada lado, com uma barra de ferro presa à parte inferior da corda, à qual foram fixados anéis de chumbo, que auxiliaram na manutenção da submersão das cordas (Fig. 2).

Empregou-se o termo *long line* para designar cabos longos suspensos, estrutura de cultivo utilizada para o cultivo de mexilhões. Como este termo é tradicionalmente utilizado tanto por pesquisadores como por maricultores, optou-se por sua manutenção neste trabalho. Cada *long line* foi constituído por uma corda de aproximadamente 100 m de comprimento à qual foram amarradas diversas bóias, responsáveis pela flutuabilidade da estrutura. As extremidades dos *long lines* foram amarradas a poitas, que os mantiveram fixos em sua posição.

Figura 2: Estrutura utilizada nos cultivos. As cordas de cultivo de *Gracilaria* foram amarradas ao *long line*, cuja flutuabilidade foi dada por grandes bóias. Nas cordas de cultivo, tanto a profundidade máxima (2 ou 3 m) como o espaçamento entre as mudas (5, 10 ou 20 cm) variaram de acordo com o objetivo do experimento.

2.3 – O cultivo

Mudas saudáveis e sem estruturas de reprodução aparentes foram triadas, limpas, secas em papel toalha e pesadas em balança de precisão (0,001 g). Utilizaram-se mudas de aproximadamente 10 cm de comprimento, com biomassa inicial de 2 a 8 g por muda, dependendo da morfologia. Cada muda foi identificada e fixada à corda de cultivo em posições previamente determinadas, utilizando-se as técnicas de inserção ou de amarração.

As mudas foram cultivadas em intervalos de tempo de 1 a 4 semanas, em profundidades entre 0,2 e 3,0 m, com espaçamento de 5, 10 ou 20 cm entre cada muda. Para facilitar as comparações dos experimentos, as mudas cultivadas foram agrupadas em três intervalos de profundidade: entre 0,2 e 1,0 m, que será referenciado no texto como “primeiro metro”; entre 1,2 e 2,0 m, que será referenciado no texto como “segundo metro”; e entre 2,2 e 3,0 m, que será referenciado como “terceiro metro”.

Seis cordas de cultivo foram preparadas para cada intervalo de tempo de cultivo. Após o intervalo de tempo de cultivo, as cordas foram coletadas e procedeu-se à limpeza das mudas, que depois foram secas com papel toalha e pesadas, com a mesma metodologia utilizada no início do experimento.

2.4 – Desenvolvimento de tecnologia de cultivo para *G. domingensis*

2.4.1 – Avaliação de diferentes intervalos de profundidade e de tempo de cultivo

Este experimento foi realizado no Local 2 no período entre 05/09 e 03/10/02 (4 semanas), com o objetivo de se avaliar o efeito de diferentes intervalos de profundidades e de tempo de cultivo sobre as taxas de crescimento de *G. domingensis*. Para isso, 24 cordas foram preparadas com mudas inseridas na trama da corda com espaçamento de 20 cm entre cada muda. Avaliaram-se 36 mudas no primeiro metro de profundidade (0 a 1,0 m), 30 mudas no segundo (1,2 a 2,0 m) e 30 mudas no terceiro (2,2 a 3,0 m) para cada semana de cultivo. A cada semana seis cordas sorteadas aleatoriamente foram coletadas e levadas ao laboratório para proceder a triagem.

2.4.2 – Fixação das mudas às cordas de cultivo: técnicas de inserção e de amarração

Este experimento foi realizado no Local 2 no período de 04/04 a 11/04/03, com o objetivo de se avaliar o efeito de diferentes técnicas e materiais utilizados para a fixação das mudas às cordas de cultivo sobre as taxas de crescimento de *G. domingensis* cultivada em dois intervalos de profundidade. Para isso, foram avaliadas duas técnicas (inserção e amarração, Fig. 3) e três tipos de materiais (fitilho, saco plástico e fio de algodão). Foram preparadas 6 cordas de cultivo para cada metodologia a ser testada (inserção, amarração com fitilho, amarração com saco plástico e amarração com fio de algodão), com espaçamento de 20 cm entre cada muda. Neste experimento, foram avaliadas 30 mudas no primeiro metro (0,2 a 1,0 m) e 30 mudas no segundo (1,2 a 2,0 m), para cada metodologia testada. As cordas de cultivo foram dispostas aleatoriamente no *long line*. O tempo necessário para a preparação das cordas de cultivo em cada metodologia foi cronometrado a fim de se avaliar sua viabilidade em um sistema de cultivo.

Figura 3: Técnicas de fixação das mudas de *Gracilaria domingensis* às cordas de cultivo. A: Técnica de inserção; B: Técnica de amarração.

2.4.3 – Diferentes espaçamentos entre mudas de *G. domingensis* nas cordas de cultivo

Estes experimentos foram realizados com o objetivo de se avaliar o efeito de diferentes espaçamentos entre mudas, em três intervalos de profundidade sobre as taxas de crescimento de *G. domingensis*. A avaliação foi realizada no período de 27/11 a 04/12/03 no Local 1 e no período de 25/09 a 02/10/03 no Local 2. Por uma impossibilidade logística para realizar este experimento nos dois locais simultaneamente, optou-se pela realização da comparação entre os espaçamentos em cada local separadamente.

Foram preparadas 6 cordas de cultivo para cada espaçamento testado: 5 cm (E5), 10 cm (E10) e 20 cm (E20), os quais foram equivalentes a 20, 10 e 5 mudas por metro linear de corda de cultivo, respectivamente (Fig. 4). As mudas foram cultivadas em três intervalos de profundidade: 0,2 a 1,0 m (primeiro metro); 1,2 a 2,0 m (segundo metro) e 2,2 a 3,0 m (terceiro metro). As cordas de cultivo foram dispostas aleatoriamente no *long line*.

A avaliação do cultivo no Local 1 foi realizada por meio da análise de 30 mudas em cada um dos três intervalos de profundidade para E20, 60 mudas para E10 e 120 mudas para E5. No Local 2 foram analisadas apenas 6 mudas no primeiro metro para cada um dos três espaçamentos. No segundo e terceiro metros foram analisadas 60 mudas para E10 e 120 mudas para E5. O menor número de mudas analisadas no primeiro intervalo de profundidade foi devido a alta taxa de epifitismo verificada nesta época do ano.

Figura 4: Aspecto das cordas de cultivo com diferentes espaçamentos entre as mudas de *Gracilaria domingensis*. (E5: espaçamento de 5 cm entre mudas; E10: espaçamento de 10 cm; E20: espaçamento de 20 cm).

2.4.4 – Diferentes biomassas iniciais das mudas

Este experimento foi realizado no Local 1, com duração de oito dias (01/09 a 09/09/03), com o objetivo de se avaliar o efeito de diferentes biomassas iniciais nas taxas de crescimento de *G. domingensis* cultivada em três intervalos de profundidade. Para isso, foram preparadas 6 cordas de cultivo para cada biomassa inicial (B2: 2 g; B5: 5 g; B8: 8 g), com espaçamento de 20 cm entre cada muda. Neste experimento foram avaliadas 30 mudas em cada um dos três intervalos de profundidade para cada biomassa inicial testada. A disposição das cordas de cultivo no *long line* foi aleatória.

2.5 – Avaliação do cultivo de *G. domingensis* ao longo do período experimental em diferentes de profundidade e de tempo de cultivo

A avaliação do cultivo de *G. domingensis* foi realizada no Local 1 no período de 16/05/03 a 21/08/04 e no Local 2 no período de 05/09/02 a 21/08/04. Os experimentos foram realizados com o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes intervalos de profundidade, tempo e locais de cultivo sobre as taxas de crescimento de *G. domingensis*. Nesta fase, a mesma metodologia foi empregada em ambos locais em todos os experimentos: as mudas foram cultivadas em três intervalos de profundidade entre 0,2 e 3,0 m (primeiro, segundo e terceiro metros), inseridas nas cordas de cultivo, com espaçamento de 20 cm entre cada uma, por intervalos de tempo de 1 e 2 semanas. Seis cordas de cultivo foram preparadas para cada semana de cultivo, que foram sorteadas aleatoriamente no momento da coleta. Entre 25 e 50 mudas foram avaliadas em cada um dos três intervalos de profundidade a cada semana.

2.6 – Comparação das taxas de crescimento de *G. domingensis* e *G. caudata* cultivadas em diferentes profundidades e intervalos de tempo de cultivo

Este experimento foi realizado no Local 1 com duração de 4 semanas (18/07 a 14/08/03) com o objetivo de se comparar as taxas de crescimento de *G. domingensis* e *G. caudata* cultivadas simultaneamente em diferentes intervalos de profundidade. Para isso, foram preparadas 24 cordas de cultivo para cada espécie, nas quais as mudas foram inseridas com espaçamento de 20 cm entre cada uma. Para cada espécie, foram avaliadas 30 mudas em cada intervalo de profundidade (primeiro, segundo e terceiro metros). A disposição das cordas de cultivo no *long line* foi aleatória. A cada semana de cultivo, seis cordas de cultivo para cada espécie foram sorteadas aleatoriamente e retiradas do mar para análise.

2.7 – Análise dos dados

A partir dos dados obtidos para cada muda (peso inicial e final, em gramas), calculou-se a Taxa de Crescimento Relativa (TCR, $\%.\text{dia}^{-1}$), utilizando-se a fórmula (DAWES, 1998):

TCR ($\%.\text{dia}^{-1}$) = $[(Pf - Pi) / Pi] / t \times 100\%$, onde Pi= peso inicial (g), Pf = peso final (g), t= intervalo de tempo entre as medidas (dias).

As comparações foram feitas de duas formas: a primeira, TCR Obtida, onde todas as taxas, inclusive as negativas (mudas com perda de biomassa) foram consideradas e a segunda, TCR Potencial, em que as taxas negativas foram descartadas (somente as mudas que efetivamente cresceram foram consideradas).

Além destas taxas, foi calculado o percentual de mudas com perda de biomassa em cada intervalo de profundidade, por meio da fórmula:

Percentual de mudas com perda de biomassa (%) = $[(ni - nf) \times 100\%] / ni$, onde; ni= número inicial de mudas; nf= número final de mudas.

Outro parâmetro calculado foi a Produtividade Estimada (PE, dada em tonelada.hectare $^{-1}.$ ano $^{-1}$, em peso úmido), a partir da fórmula:

PE (t.ha $^{-1}.$ ano $^{-1}$)= Produção de biomassa (tonelada) x número de cordas de cultivo em um hectare x número de semanas (ano)

A produção de biomassa foi obtida por meio da média da produção das mudas em cada intervalo de tempo do cultivo, convertida para tonelada. Para se calcular o número de cordas de cultivo considerou-se que em um hectare poderiam ser dispostos 50 *long lines* com uma distância de 2 m entre cada um. Como em um *long line* seria possível instalar 250 cordas de cultivo de *Gracilaria*, em um hectare poderiam ser instaladas 12.500 cordas de cultivo. Caso a distância entre os *long lines* fosse diminuída para 1,5 ou 1 m, o número de *long lines* em um hectare aumentaria,

possibilitando um aumento proporcional no número de cordas de cultivo dentro da área de um hectare (18.750 e 25.000, respectivamente). Estes cálculos adicionais foram feitos porque estas distâncias entre os *long lines* podem ser factíveis para o cultivo de *Gracilaria*. O número de semanas foi 52, quando considerado o intervalo de tempo de cultivo de 1 semana e 26, quando considerado o intervalo de tempo de cultivo de 2 semanas.

Assim, a PE refletiu o incremento de biomassa (convertido em tonelada), calculada para cada intervalo de profundidade em cada intervalo de tempo de cultivo avaliado, dentro de um hectare em um ano.

Os dados foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância. (programa Statistica, versão 5.0). O teste *a posteriori* de Tukey foi aplicado quando foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) (ZAR, 1999).

3 - RESULTADOS

3.1 – Desenvolvimento de tecnologia de cultivo para *G. domingensis*

3.1.1 – Avaliação de diferentes intervalos de profundidade e de tempo de cultivo

Neste experimento foi verificado que as mudas cultivadas junto à superfície da água (0 m) apresentaram TCR negativas, evidenciando a grande probabilidade de quebra dos talos. Por este motivo, esta profundidade foi excluída nos experimentos posteriores e desta forma, a menor profundidade passou a ser 0,2 m.

As médias das TCR Obtidas para as mudas cultivadas durante 1 semana nos dois primeiros metros de profundidade foram as mais elevadas (Fig. 5A), com valores de 3,3 %. dia^{-1} no primeiro metro de profundidade e 7,1 %. dia^{-1} no segundo metro. Para 2 semanas de cultivo, (Fig. 5B), as taxas foram bastante baixas se comparadas àquelas da primeira semana. Já para intervalos de tempo de 3 e 4 semanas, as TCR Obtidas foram negativas em todas as profundidades testadas (Fig. 5C e D, respectivamente).

A análise das TCR Obtidas para cada um dos intervalos de tempo separadamente mostrou diferença significativa somente na primeira semana de cultivo ($p = 0,012$), tendo as mudas cultivadas no segundo metro (entre 1,2 e 2,0 m) crescido mais que aquelas cultivadas no terceiro metro (entre 2,2 e 3,0 m) de profundidade ($p = 0,010$). Para 2, 3 e 4 semanas de cultivo, as TCR Obtidas não mostraram diferenças significativas entre as profundidades.

A comparação entre os intervalos de tempo de cultivo para uma mesma profundidade restringiu-se às duas primeiras semanas de cultivo, nas quais ocorreram TCR Obtidas positivas. As TCR Obtidas no segundo metro de cultivo foram significativamente diferentes ($p=0,000$) entre os tempos de cultivo (1 semana e 2 semanas), não sendo detectada diferença significativa no primeiro e terceiro metros.

A fragmentação das mudas e a perda de biomassa foram observadas durante o experimento. O percentual de mudas com perda de biomassa (biomassa final menor que a inicial) aumentou conforme o tempo de cultivo, chegando a 100% de mudas com perdas em 4 semanas (Tab. 1). Devido a esta fragmentação, as TCR Obtidas foram mais baixas do que as TCR Potenciais (Fig. 5).

As médias mais elevadas (porém sem diferença significativa) das TCR Potenciais foram observadas para mudas cultivadas durante 1 semana nos dois primeiros metros de profundidade (Fig. 5A). Médias elevadas das TCR Potenciais também foram observadas para 2 semanas de cultivo no primeiro metro de profundidade (Fig. 5B) e para 3 semanas nos dois primeiros metros de profundidade (Fig. 5C).

Comparando-se a duração do cultivo, não houve diferença significativa nas TCR Potenciais, nem para o primeiro nem para o segundo metro de profundidade. No terceiro metro, houve diferença significativa nas taxas entre 1 e 2 semanas de cultivo ($p=0,043$).

Comparando-se as TCR Potenciais das diferentes profundidades para cada um dos intervalos de tempo separadamente, houve diferença significativa entre as profundidades na primeira semana de cultivo ($p=0,000$), sendo que apenas as mudas cultivadas no segundo metro apresentaram TCR Potencial maior que aquelas cultivadas no terceiro metro de profundidade ($p=0,013$). Para duas semanas de cultivo também houve diferença significativa entre as profundidades ($p=0,000$), tendo as mudas cultivadas no primeiro metro crescido mais que aquelas cultivadas no segundo ($p=0,030$) e terceiro metro de profundidade ($p=0,015$). Para 3 e 4 semanas de cultivo não houve diferenças significativas nas TCR Potenciais entre as profundidades.

Figura 5: Taxas de Crescimento Relativo (TCR, %dia⁻¹) Obtidas (barras pretas) e Potenciais (barras cinzas) de *Gracilaria domingensis* cultivada durante 1 (A), 2 (B), 3 (C) e 4 semanas (D) em três intervalos de profundidade.

Tabela 1: Percentual de mudas de *Gracilaria domingensis* que apresentaram perda de biomassa em intervalos de tempo de 1 a 4 semanas em três intervalos de profundidade.

Intervalos de profundidade	1 semana	2 semanas	3 semanas	4 semanas
0,2 – 1,0 m	19,4	30,6	77,8	100,0
1,2 – 2,0 m	3,3	40,0	90,0	96,7
2,2 – 3,0 m	13,3	53,3	96,7	100,0

Com relação à produtividade estimada (PE), esta foi calculada somente para 1 e 2 semanas de cultivo (Tab. 2). Para um sistema de cultivo com *long lines* distanciados em 2 m (12.500 cordas) e considerando a somatória de todos os intervalos de profundidade, a PE integrada foi de 1,96 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para mudas cultivadas durante 1 semana e de 0,48 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para mudas cultivadas durante 2 semanas (Tab. 2). Estas estimativas aumentam proporcionalmente ao aumento do número de cordas de cultivo, podendo chegar a PE integrada de 3,92 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para mudas cultivadas durante 1 semana e de 0,95 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para mudas cultivadas durante 2 semanas (Tab. 2).

Tabela 2: Produtividade estimada (PE, t.ha⁻¹.ano⁻¹, peso úmido) de *Gracilaria domingensis* cultivada durante 1 e 2 semanas nos diferentes intervalos de profundidade. PE 1 = distância de 2 m entre *long lines*; PE 2= distância de 1,5 m entre *long lines*; PE 3 = distância de 1 m entre *long lines*.

Tempo de cultivo	Intervalos de profundidade	PE 1 (12.500 cordas)	PE 2 (18.750 cordas)	PE 3 (25.000 cordas)
1 semana	0,2 – 1,0 m	0,74	1,11	1,48
	1,2 – 2,0 m	1,12	1,68	2,24
	2,2 – 3,0 m	0,10	0,15	0,20
	Integrado	1,96	2,94	3,92
2 semanas	0,2 – 1,0 m	0,41	0,61	0,81
	1,2 – 2,0 m	0,07	0,10	0,14
	Integrado	0,48	0,71	0,95

3.1.2 – Fixação das mudas de *G. domingensis* às cordas de cultivo: técnicas de inserção e de amarração

Não houve diferença significativa nos valores das TCR, tanto para as Obtidas (5,5 a 8,9 %.dia⁻¹) quanto para as Potenciais (8,3 a 10,6 %.dia⁻¹), entre as diferentes técnicas de fixação da alga à corda de cultivo para algas cultivadas no primeiro metro de profundidade (Fig.6A). Apesar disto, houve uma tendência de menores valores para as algas inseridas (Fig. 6A). No segundo metro de profundidade esta tendência de menores valores foi ressaltada (Obtidas variando de 2,9 a 7,5 %.dia⁻¹ e Potenciais variando de 6,2 a 9,0 %.dia⁻¹) (Fig. 6B), e as algas inseridas na corda apresentaram valores de TCR Obtidas significativamente menores que aquelas amarradas com fitilho (FIT, $p= 0,029$) e saco plástico (SP, $p= 0,014$). (Figura 6B). Não foi observada diferença significativa das TCR Potenciais no segundo metro.

Figura 6: Taxas de Crescimento Relativo (TCR, %.dia⁻¹) Obtidas (barras pretas) e Potenciais (barras cinzas) de *Gracilaria domingensis* cultivada durante 1 semana no primeiro (A) e segundo metros de profundidade (B), cujas mudas foram inseridas (INS) ou amarradas com diferentes tipos de materiais: FIT = fitilho; SP = saco plástico; ALG = fio de algodão.

As mudas fixadas às cordas de cultivo por meio da técnica de amarração, comparando qualquer um dos materiais (fítio, saco plástico ou fio de algodão), foram as que apresentaram menores percentuais de perda de biomassa, entre 6,7 e 16,7%, quando comparadas àquelas fixadas pelo método de inserção (Tab. 3). A elevada perda de biomassa pelas algas inseridas foi responsável pelos menores valores de TCR para as algas fixadas por esta técnica (Fig. 6A e 6B).

Tabela 3: Percentual de mudas de *Gracilaria domingensis* que apresentaram perda de biomassa, cultivadas durante 1 semana em dois intervalos de profundidade, cujas mudas foram fixadas às cordas de cultivo com diferentes técnicas de fixação.

Intervalos de profundidade	Inseridas	Amarradas Fítio	Amarradas Saco plástico	Amarradas Fio de algodão
0,2 – 1,0 m	20,0	6,7	10,0	10,0
1,2 – 2,0 m	27,5	10,0	10,0	16,7

Neste experimento, a técnica de amarração, para qualquer um dos materiais testados, proporcionou os valores mais elevados de PE (Tab. 4). Dentre estas, a PE mais elevada foi observada para a técnica de amarração com algodão no primeiro metro e para a técnica de amarração com fítio no segundo metro (Tab. 4).

Em um sistema de cultivo com *long lines* distanciados em 2 m (12.500 cordas de cultivo), com a técnica de inserção a PE integrada foi de 3,01 t.ha⁻¹.ano⁻¹ (Tab. 4). Para a técnica de amarração, tais estimativas aumentaram para valores próximos de 5 t.ha⁻¹.ano⁻¹ com o mesmo número de cordas de cultivo aumentasse (Tab. 4). Tais PE poderiam até dobrar caso o número de cordas de cultivo (PE 2 e PE 3), chegando a 6,02 t.ha⁻¹.ano⁻¹ com a técnica de inserção e a aproximadamente 10 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para a técnica de amarração (Tab. 4).

Em relação ao tempo médio necessário para preparar as cordas de cultivo, com a técnica de inserção foram necessários, em média, 6 minutos para cada corda. Com a técnica de amarração com fítio e fio de algodão, o tempo médio foi de 13 minutos e com saco plástico foi de 11 minutos.

Tabela 4: Produtividade estimada (PE, t ha⁻¹ ano⁻¹, peso úmido) de *Gracilaria domingensis* cultivada durante 1 semana em dois intervalos de profundidade, cujas mudas foram inseridas ou amarradas às cordas de cultivo com diferentes tipos de materiais. PE 1 = distância de 2 m entre *long lines*; PE 2= distância de 1,5 m entre *long lines*; PE 3 = distância de 1 m entre *long lines*.

Técnica ou material	Intervalos de profundidade	PE 1 (12.500 cordas)	PE 2 (18.750 cordas)	PE 3 (25.000 cordas)
Inserida	0,2 – 1,0 m	1,91	2,87	3,82
	1,2 – 2,0 m	1,10	1,65	2,20
	Integrado	3,01	4,52	6,02
Amarrada com fitilho	0,2 – 1,0 m	2,90	4,36	5,81
	1,2 – 2,0 m	2,16	3,24	4,32
	Integrado	5,06	7,60	10,13
Amarrada com saco plástico	0,2 – 1,0 m	2,82	4,23	5,64
	1,2 – 2,0 m	2,05	3,08	4,10
	Integrado	4,87	7,31	9,74
Amarrada com fio de algodão	0,2 – 1,0 m	2,97	4,46	5,94
	1,2 – 2,0 m	1,83	2,75	3,67
	Integrado	4,80	7,21	9,61

3.1.3 – Diferentes espaçamentos entre mudas de *G. domingensis* nas cordas de cultivo

3.1.3.1 – Local 1 (Experimento novembro/2003)

No Local 1, que é o mais abrigado, os melhores desempenhos de *G. domingensis* foram observados, tanto para as TCR Obtidas como para as TCR Potenciais, para as mudas espaçadas em 5 e 10cm (Fig. 7).

Nos primeiros dois metros, tanto para as TCR Obtidas como para as Potenciais, não houve diferença entre as mudas cultivadas em diferentes espaçamentos (E5, E10 e E20). No terceiro metro, as mudas cultivadas no maior espaçamento (E20) mostraram TCR Obtidas menores que as mudas cultivadas no menor espaçamento (E5) ($p=0,036$), contudo não foram observadas diferenças para as TCR Potenciais.

Figura 7: Taxas de Crescimento Relativo (TCR, %dia⁻¹) Obtidas (barras pretas) e Potenciais (barras cinzas) de *Gracilaria domingensis* cultivada no Local 1 durante 1 semana (novembro/2003), cujas mudas foram cultivadas no primeiro (A), segundo (B) e terceiro metros de profundidade (C), com espaçamentos de 5, 10 e 20 cm entre mudas.

Cerca de 18 a 40% das mudas apresentaram perda de biomassa para os três espaçamentos testados (Tab. 5). No último intervalo de profundidade esses percentuais foram mais altos que 30% para E10 e E20 (Tab. 5).

A PE para este experimento mostrou valores elevados para E5 e E10, enquanto E20 apresentou valores mais baixos (Tab. 6). Em um sistema de cultivo com *long lines* distanciados em 2 m (12.500 cordas), PE integrada calculada foi de 9,78 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para E5; 4,48 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para E10 e 0,97 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para E20 (Tab. 6). A PE

integrada de E5 (20 mudas por metro) foi 10 vezes o valor estimado para E20 (5 mudas por metro) e o dobro do estimado para E10 (10 mudas por metro). (Tab. 6).

Tabela 5: Percentual de mudas de *Gracilaria domingensis* que apresentaram perda de biomassa, cultivadas durante 1 semana no Local 1 no mês de novembro/2003 em três intervalos de profundidade. E5 = espaçamento entre mudas de 5 cm; E10 = espaçamento entre mudas de 10 cm; E20 = espaçamento entre mudas de 20 cm.

Intervalos de profundidade	E5	E10	E20
0,2 – 1,0 m	29,4	20,0	16,7
1,2 – 2,0 m	18,3	28,0	26,7
2,2 – 3,0 m	25,8	32,0	43,3

Tabela 6: Produtividade estimada (PE, t.ha⁻¹.ano⁻¹, peso úmido) de *Gracilaria domingensis*, cultivada durante 1 semana no Local 1 em diferentes intervalos de profundidade e espaçamentos durante o mês de novembro/2003. PE 1 = distância de 2 m entre *long lines*; PE 2 = distância de 1,5 m entre *long lines*; PE 3 = distância de 1 m entre *long lines*.

Espaçamento entre mudas	Intervalos de profundidade	PE 1 (12.500 cordas)	PE 2 (18.750 cordas)	PE 3 (25.000 cordas)
5 cm	0,2 – 1,0 m	2,51	3,76	5,02
	1,2 – 2,0 m	3,54	5,31	7,08
	2,2 – 3,0 m	3,74	5,61	7,47
	Integrado	9,78	14,68	19,57
10 cm	0,2 – 1,0 m	1,97	2,95	3,93
	1,2 – 2,0 m	1,39	2,08	2,77
	2,2 – 3,0 m	1,13	1,69	2,25
	Integrado	4,48	6,71	8,95
20 cm	0,2 – 1,0 m	0,39	0,58	0,78
	1,2 – 2,0 m	0,58	0,87	1,17
	Integrado	0,97	1,45	1,95

3.1.3.2 – Local 2 (Experimento setembro/2003)

No Local 2, que foi o local mais afastado da costa, a distância entre as mudas não influenciou nas TCR (tanto Obtidas como Potenciais) em nenhuma das profundidades testadas, não sendo observadas diferenças significativas (Fig. 8) e *G. domingensis* mostrou desempenho semelhante para os três espaçamentos. Estes três espaçamentos não mostraram diferenças significativas nas TCR Obtidas e Potenciais em nenhuma das profundidades, apesar de haver uma tendência de valores mais elevados para E20, tanto para TCR Obtida como Potencial (Fig. 8).

Poucas mudas apresentaram perda de biomassa neste experimento, chegando a quase 17% no caso onde ocorreu a maior perda, tendo sido E5 no primeiro metro aquele que apresentou este percentual de perdas (Tab. 7).

Com relação à PE, os valores estimados foram altos, com as estimativas mais elevadas para E5 (Tab. 8). Em um sistema de cultivo com 12.500 cordas, a PE integrada seria de $16,06 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para E5; $7,35 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para E10 e $5,02 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para E20, com valores estimados mais altos para maiores números de cordas de cultivo (PE 2 e PE 3) (Tab. 8). A estimativa de E5 (20 mudas por metro de corda) foi pouco mais que o dobro da estimativa de E10 (10 mudas por metro de corda) e pouco mais que três vezes o valor estimado para E20 (5 mudas por metro) (Tab. 8).

Figura 8: Taxas de Crescimento Relativo (TCR, %dia⁻¹) Obtidas (barras pretas) e Potenciais (barras cinzas) de *Gracilaria domingensis* cultivada no Local 2 durante 1 semana (setembro/2003), cujas mudas foram cultivadas no primeiro (A), segundo (B) e terceiro metros de profundidade (C), com espaçamento de 5, 10 e 20 cm entre mudas.

Tabela 7: Percentual de mudas de *Gracilaria domingensis* que apresentaram perda de biomassa, cultivadas durante 1 semana no Local 2 (setembro/2003) em três intervalos de profundidade. E5 = espaçamento de 5 cm entre mudas; E10 = espaçamento de 10 cm entre mudas; E20 = espaçamento de 20 cm entre mudas.

Intervalos de profundidade	E5	E10	E20
0,2 – 1,0 m	16,7	0,0	0,0
1,2 – 2,0 m	5,8	0,0	3,3
2,2 – 3,0 m	5,8	5,0	6,7

Tabela 8: Produtividade estimada (PE, t.ha⁻¹.ano⁻¹, peso úmido) de *Gracilaria domingensis* cultivada durante 1 semana no Local 2 em três intervalos de profundidade em diferentes espaçamentos (setembro/2003). PE 1 = distância de 2 m entre *long lines*; PE 2 = distância de 1,5 m entre *long lines*; PE 3 = distância de 1 m entre *long lines*.

Espaçamento entre mudas	Intervalos de profundidade	PE 1 (12.500 cordas)	PE 2 (18.750 cordas)	PE 3 (25.000 cordas)
5 cm	0,2 – 1,0 m	0,37	0,55	0,73
	1,2 – 2,0 m	9,32	13,98	18,64
	2,2 – 3,0 m	6,37	9,55	12,74
	Integrado	16,06	24,08	32,11
10 cm	0,2 – 1,0 m	0,44	0,66	0,88
	1,2 – 2,0 m	4,00	6,00	7,99
	2,2 – 3,0 m	2,91	4,37	5,82
	Integrado	7,35	11,02	14,69
20 cm	0,2 – 1,0 m	0,64	0,96	1,27
	1,2 – 2,0 m	2,87	4,30	5,73
	2,2 – 3,0 m	1,52	2,28	3,03
	Integrado	5,02	7,53	10,04

3.1.4 – Diferentes biomassas iniciais das mudas (setembro/2004)

Os melhores desempenhos de *G. domingensis* foram observados tanto para as TCR Obtidas quanto para as TCR Potenciais, para as mudas com biomassas iniciais de 2 e 5 g nos dois primeiros metros (Fig. 9). No primeiro metro, B2 apresentou TCR Obtida maior que B5 e que B8 ($p= 0,000$ para ambas comparações). No segundo metro, B8 foi significativamente menor que B2, enquanto no terceiro metro não foi observada diferença significativa entre as biomassas iniciais utilizadas. As TCR Obtidas mais altas no primeiro metro de cultivo foram observadas para B2, enquanto no segundo metro, B2 e B5 apresentaram valores próximos. B8 apresentou valores baixos ou negativos em todas as profundidades testadas.

Com relação as TCR Potenciais, houve diferença significativa entre as biomassas iniciais testadas dentro do primeiro ($p= 0,012$) e do segundo metros ($p= 0,000$). No primeiro metro, houve diferença entre B2 e B8 ($p= 0,040$) e no segundo,

houve diferença entre B2 e B8 ($p= 0,001$) e entre B5 e B8 ($p= 0,007$). As TCR Potenciais mais altas no primeiro e no segundo metro de cultivo foram observadas para B2 e B5, enquanto B8 apresentou os valores mais baixos nos três metros de cultivo.

Com relação às mudas que apresentaram perda de biomassa, observou-se percentuais mais elevados para mudas com biomassas iniciais maiores (Tab. 9). Os percentuais menos elevados foram observados no segundo metro, independente da biomassa inicial cultivada (Tab. 9).

Figura 9: Taxas de Crescimento Relativo (TCR, $\%.\text{dia}^{-1}$) Obtidas (barras pretas) e Potenciais (barras cinzas) de *Gracilaria domingensis* cultivada no primeiro (A), segundo (B) e terceiro metros de profundidade (C), durante 1 semana no Local 1 com mudas de diferentes biomassas iniciais (2, 5 e 8 g).

A PE mostrou valores mais elevados para B5 nos dois primeiros metros de cultivo (Tab. 10). No último metro, a PE foi baixa para B5 (0,20 t.ha⁻¹.ano⁻¹) e nula para B2 e B8, tendo sido também nula no primeiro metro de cultivo para B8 (Tab. 10). A PE integrada para um sistema com 12.500 cordas foi de 4,10 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para B2; 6,98 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para B5 e apenas 2,59 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para B8 (Tab. 10).

Tabela 9: Percentual de mudas de *Gracilaria domingensis* que apresentaram perda de biomassa, cultivadas durante 1 semana no Local 1 em três intervalos de profundidade e com diferentes biomassas iniciais.

Intervalos de profundidade	2 g	5 g	8 g
0,2 – 1,0 m	10,0	30,0	70,0
1,2 – 2,0 m	6,7	16,7	16,7
2,2 – 3,0 m	33,3	40,0	43,3

Tabela 10: Produtividade estimada (PE, t.ha⁻¹.ano⁻¹, peso úmido) de *Gracilaria domingensis* cultivada durante 1 semana no Local 1 em três intervalos de profundidade e com diferentes biomassas iniciais. PE 1 = distância de 2 m entre *long lines*; PE 2= distância de 1,5 m entre *long lines*; PE 3 = distância de 1 m entre *long lines*.

Biomassa inicial	Intervalos de profundidade	PE 1 (12.500 cordas)	PE 2 (18.750 cordas)	PE 3 (25.000 cordas)
2 g	0,2 – 1,0 m	2,27	3,41	4,54
	1,2 – 2,0 m	1,83	2,75	3,67
	Integrado	4,10	6,16	8,21
5 g	0,2 – 1,0 m	3,49	5,24	6,99
	1,2 – 2,0 m	3,29	4,93	6,57
	2,2 – 3,0 m	0,20	0,31	0,41
	Integrado	6,98	10,47	13,96
8 g	1,2 – 2,0 m	2,59	3,89	5,18
	Integrado	2,59	3,89	5,18

3.2 – Avaliação do cultivo de *G. domingensis* ao longo do período experimental no Local 1 em diferentes profundidades e tempos de cultivo

3.2.1 – Cultivos com duração de uma semana

As taxas de crescimento de *G. domingensis* ao longo do período experimental (maio/2003 a agosto/2004) foram muito variáveis (Fig. 10). As médias das TCR Obtidas das mudas cultivadas durante 1 semana, no primeiro metro de profundidade variaram de 0,6 (maio/2003) a 10,3 $\%.\text{dia}^{-1}$ (fevereiro/2004) (Fig. 10A). No segundo metro de profundidade as médias das TCR Obtidas ficaram entre -0,1 (maio/2004) e 9,3 $\%.\text{dia}^{-1}$ (fevereiro/2004) (Fig. 10B) e no terceiro metro de profundidade, entre -1,3 (maio/2004) e 8,4 $\%.\text{dia}^{-1}$ (fevereiro/2004) (Fig. 10C). No primeiro metro de profundidade, as médias das TCR Obtidas foram positivas (Fig. 10A); no segundo metro de profundidade, excetuando-se para o valor obtido em maio/2004, as médias das TCR Obtidas foram positivas (Fig. 10B), sendo as taxas do primeiro metro mais elevadas que aquelas do segundo metro. No terceiro metro, a maioria das médias das taxas foi positiva, apesar dos baixos valores (Fig. 10C).

Embora tenham sido observadas diferenças significativas nas TCR Obtidas entre alguns meses, não houve um padrão sazonal claramente definido para as taxas de crescimento. Isto foi observado para todas as profundidades estudadas.

As TCR Potenciais das mudas cultivadas durante 1 semana foram muito variáveis ao longo do período experimental (Fig. 11), apresentando um comportamento semelhante ao observado para as TCR Obtidas. As médias das mudas cultivadas no primeiro de profundidade metro de cultivo variaram entre 3,1 (novembro/2003) e 10,3 $\%.\text{dia}^{-1}$ (fevereiro/2004) (Fig. 11). No segundo metro, as médias das taxas ficaram entre 3,0 (agosto/2004) e 9,3 $\%.\text{dia}^{-1}$ (fevereiro/2004) (Fig. 11B) e no terceiro metro, entre 1,9 (agosto/2004) e 8,4 $\%.\text{dia}^{-1}$ (fevereiro/2004) (Fig. 11C).

Assim como observado para as TCR Obtidas, embora tenham sido observadas diferenças significativas entre alguns meses, não foi possível determinar um padrão sazonal na variação das TCR Potenciais ao longo do período experimental, em todas as profundidades estudadas (Fig. 11).

Figura 10: Variação temporal das Taxas de Crescimento Relativo Obtidas (TCR Obtida, %/dia⁻¹) para mudas de *Gracilaria domingensis* cultivadas durante 1 semana no primeiro (A), segundo (B) e terceiro metros de profundidade (C) Local 1.

Figura 11: Variação temporal das Taxas de Crescimento Relativo Potenciais (TCR Potencial, %dia⁻¹) para mudas de *Gracilaria domingensis* cultivadas durante 1 semana no primeiro (A), segundo (B) e terceiro metros de profundidade (C) no Local 1.

O percentual de mudas com perda de biomassa neste local mostrou, em geral, valores menores que 30%, especialmente nos dois primeiros metros de profundidade (Tab. 11).

A variação temporal da produtividade estimada (PE) no Local 1 encontra-se na Tabela 12. Dos dez experimentos realizados neste local, para o intervalo de cultivo de uma semana, nove experimentos tiveram a PE calculada, ou seja, a maioria dos experimentos apresentou um saldo positivo. Destes, todos tiveram a PE avaliada para o primeiro metro de profundidade, oito para o segundo intervalo de profundidade e apenas quatro no último intervalo. Estes resultados traduzem a menor eficiência de produção de biomassa no terceiro metro de profundidade.

Embora os valores de PE integrada tenham sido muito variáveis ao longo período experimental, foi possível calcular produtividades acima de $5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ para alguns períodos (maio/2003 e agosto/2004), chegando a $10,3 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (fevereiro/2004), mesmo na menor densidade de cordas (Tab. 12). Usando a maior densidade de cordas, os valores máximos chegaram a $20,54 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (Tab. 12).

Tabela 11: Percentual de mudas de *Gracilaria domingensis* que apresentaram perda de biomassa, cultivadas durante 1 semana no Local 1 ao longo de 2003/2004 em três intervalos de profundidade.

Data do experimento	Intervalos de profundidade		
	0,2 – 1,0 m	1,2 – 2,0 m	2,2 – 3,0 m
16/05/03	3,3	3,3	
29/05/03	32,0	28,0	36,2
18/07/03	33,3	20,0	26,7
25/09/03	0,0	3,3	6,7
16/10/03	23,3	26,7	50,0
06/11/03	43,3	26,7	36,7
27/11/03	16,7	26,7	43,3
25/02/04	0,0	0,0	0,0
20/05/04	20,0	46,7	50,0
04/08/04	33,3	13,3	13,3

Tabela 12: Produtividade estimada (PE, t ha⁻¹ ano⁻¹, peso úmido) de *Gracilaria domingensis* cultivada durante 1 semana no Local 1. PE 1 = distância de 2 m entre *long lines*; PE 2 = distância de 1,5 m entre *long lines*; PE 3 = distância de 1 m entre *long lines*.

Data do experimento	Intervalos de profundidade	PE 1 (12.500 cordas)	PE 2 (18.750 cordas)	PE 3 (25.000 cordas)
16/05/03	0,2 – 1,0 m	2,86	4,29	5,72
	1,2 – 2,0 m	2,30	3,44	4,59
	Integrado	5,16	7,73	10,31
29/05/03	0,2 – 1,0 m	0,26	0,40	0,53
	1,2 – 2,0 m	0,56	0,84	1,12
	Integrado	0,82	1,24	1,65
18/07/03	0,2 – 1,0 m	1,35	2,03	2,70
	1,2 – 2,0 m	1,15	1,72	2,30
	2,2 – 3,0 m	0,37	0,55	0,73
	Integrado	2,87	4,30	5,73
16/10/03	0,2 – 1,0 m	1,16	1,74	2,32
	1,2 – 2,0 m	1,53	2,29	3,05
	Integrado	2,69	4,03	5,37
06/11/03	0,2 – 1,0 m	0,80	1,20	1,60
	1,2 – 2,0 m	1,09	1,63	2,18
	2,2 – 3,0 m	0,70	1,05	1,40
	Integrado	2,59	3,88	5,18
27/11/03	0,2 – 1,0 m	0,39	0,58	0,78
	1,2 – 2,0 m	0,58	0,87	1,17
	Integrado	0,97	1,45	1,95
25/02/04	0,2 – 1,0 m	3,85	5,77	7,69
	1,2 – 2,0 m	3,43	5,15	6,86
	2,2 – 3,0 m	2,99	4,49	5,99
	Integrado	10,27	15,41	20,54
20/05/04	0,2 – 1,0 m	1,74	2,61	3,48
04/08/04	0,2 – 1,0 m	1,48	2,22	2,96
	1,2 – 2,0 m	2,49	3,73	4,98
	2,2 – 3,0 m	1,24	1,87	2,49
	Integrado	5,21	7,82	10,43

3.2.2 – Cultivos com duração de duas semanas

As taxas de crescimento de *G. domingensis* cultivada durante 2 semanas ao longo do período experimental (maio/2003 a agosto/2004) foram muito variáveis (Fig. 12). As médias das TCR Obtidas das mudas cultivadas durante 2 semanas, no primeiro metro de profundidade variaram de $-7,0$ (novembro/2003) a $6,1 \text{ \%dia}^{-1}$ (maio/2003) (Fig. 12A). No segundo metro de profundidade as médias das TCR Obtidas ficaram entre $-6,9$ (novembro/2003) e $4,0 \text{ \%dia}^{-1}$ (maio/2003) (Fig. 12B) e no terceiro metro, entre $-7,7$ (novembro/2003) e $2,3 \text{ \%dia}^{-1}$ (julho/2003) (Fig. 12C).

Em cada uma das profundidades testadas, houve diferença significativa para as TCR Obtidas entre os meses ($p= 0,000$), mas, assim como para as mudas cultivadas por 1 semana, não houve um padrão sazonal definido.

Excetuando-se o experimento de novembro/2003 no primeiro e no segundo metros de profundidade, as médias das TCR Obtidas foram positivas (Fig. 12). No terceiro metro de profundidade a maioria das médias das taxas foi negativa e, quando apresentaram valores positivos, estes foram baixos (Fig. 12C). De maneira geral, houve um decréscimo das TCR Obtidas com o aumento da profundidade (Fig. 12).

Assim como foi observado para as médias das TCR Obtidas, as médias das TCR Potenciais gradualmente diminuíram do primeiro para o terceiro metro de profundidade (Fig. 13). No primeiro metro de cultivo, as médias das TCR Potenciais ficaram entre $3,4$ (agosto/2004) e $12,9 \text{ \%dia}^{-1}$ (novembro/2003) (Fig. 13A). No segundo metro, as médias variaram entre $2,9$ (outubro/2003) e $14,8 \text{ \%dia}^{-1}$ (novembro/2003) (Fig. 13B) e no último metro, variaram entre $2,0$ (maio/2004) e $4,3 \text{ \%dia}^{-1}$ (julho/2003) (Fig. 13C).

No primeiro metro de profundidade, os experimentos de maio/2003, novembro/2003 e maio/2004 foram os que apresentaram as maiores TCR Potenciais e não mostraram diferenças significativas entre estes. Os demais experimentos, que mostraram valores mais baixos, não apresentaram diferenças significativas entre eles. No segundo metro de profundidade, os mesmos experimentos citados acima apresentaram os valores mais altos, com exceção de maio/2004, que não mostrou diferença significativa também com as taxas observadas nos meses que apresentaram as TCR Potenciais mais baixas. No último metro de profundidade, com exceção do experimento realizado em julho/2003, não houve diferença nas TCR Potenciais entre os meses. Apesar das diferenças de valores nas taxas entre alguns meses, não observou-se um padrão sazonal definido para nenhuma das profundidades estudadas.

Os percentuais de mudas que perderam biomassa durante o período experimental foram elevados nos experimentos realizados em novembro/2003 e maio/2004 (Tab. 13) o que correspondeu a um período com elevada frequência de tempestades e ressacas (Anexo 1). Nos demais experimentos, os valores observados não foram tão elevados, mas foram superiores aos observados nos experimentos com duração de 1 semana.

A PE para os experimentos realizados no Local 1 para mudas cultivadas durante 2 semanas encontra-se na Tabela 14. Dos seis experimentos realizados neste local para o intervalo de cultivo de 2 semanas, cinco experimentos tiveram a PE calculada, ou seja, dois terços dos experimentos apresentaram um saldo positivo. Destes, todos tiveram a PE avaliada para o primeiro e segundo intervalos de profundidade e apenas dois tiveram a PE avaliada no último intervalo (Tab. 14).

Embora as estimativas de produtividade sejam muito variáveis ao longo do ano, foi possível obter, com a menor densidade de cordas, valores superiores $3 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em quatro experimentos (maio/2003, julho/2003, outubro/2003 e agosto/2004) e com um máximo observado de $5,15 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ em agosto/2004 (Tab. 14). Considerando-se a máxima densidade de cordas, a máxima PE chega a $10,27 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (Tab. 14).

Tabela 13: Percentual de mudas de *Gracilaria domingensis* que apresentaram perda de biomassa, cultivadas durante 2 semanas no Local 1 ao longo de 2003/2004 em três intervalos de profundidade.

Data do experimento	Intervalos de profundidade		
	0,2 – 1,0 m	1,2 – 2,0 m	2,2 – 3,0 m
16/05/03	3,0	30,0	-
18/07/03	20,0	20,0	26,7
16/10/03	10,0	10,0	40,0
06/11/03	96,7	96,6	-
20/05/04	43,3	53,3	73,3
04/08/04	36,7	13,3	20,0

Figura 12: Variação temporal das Taxas de Crescimento Relativo Obtidas (TCR Obtida, %.dia⁻¹) para mudas de *Gracilaria domingensis* cultivadas durante 2 semanas no primeiro (A), segundo (B) e terceiro metros de profundidade (C) no Local 1.

Figura 13: Variação temporal das Taxas de Crescimento Relativo Potenciais (TCR Potencial, %dia⁻¹) para mudas de *Gracilaria domingensis* cultivadas durante 2 semanas no primeiro (A), segundo (B) e terceiro metros de profundidade (C) Local 1.

Tabela 14: Produtividade estimada (PE, t ha⁻¹ ano⁻¹, peso úmido) de *Gracilaria domingensis* cultivada durante 2 semanas, no Local 1. PE 1 = distância de 2 m entre *long lines*; PE 2 = distância de 1,5 m entre *long lines*; PE 3 = distância de 1 m entre *long lines*.

Data do experimento	Intervalos de profundidade	PE 1 (12.500 cordas)	PE 2 (18.750 cordas)	PE 3 (25.000 cordas)
16/05/03	0,2 – 1,0 m	2,66	3,98	5,31
	1,2 – 2,0 m	1,20	1,81	2,41
	Integrado	3,86	5,79	7,72
18/07/03	0,2 – 1,0 m	1,54	2,31	3,08
	1,2 – 2,0 m	1,15	1,73	2,30
	2,2 – 3,0 m	0,99	1,48	1,97
	Integrado	3,68	5,51	7,36
16/10/03	0,2 – 1,0 m	1,99	2,98	3,97
	1,2 – 2,0 m	1,12	1,68	2,25
	Integrado	3,11	4,66	6,22
20/05/04	0,2 – 1,0 m	0,87	1,31	1,75
	1,2 – 2,0 m	0,03	0,04	0,05
	Integrado	0,90	1,35	1,80
04/08/04	0,2 – 1,0 m	0,66	0,99	1,31
	1,2 – 2,0 m	3,08	4,62	6,15
	2,2 – 3,0 m	1,40	2,10	2,80
	Integrado	5,14	7,70	10,27

3.3 – Avaliação do cultivo de *G. domingensis* ao longo do período experimental no Local 2 em diferentes intervalos de profundidade e de tempo de cultivo

3.3.1 – Cultivos com duração de uma semana

As médias das TCR Obtidas para as mudas cultivadas durante 1 semana no Local 2, avaliadas no período de setembro/2002 a agosto/2004, variaram de - 2,2 (maio/2003) a 5,7 $\%.\text{dia}^{-1}$ (maio/2004) no primeiro metro de profundidade (Fig. 14A). No segundo metro de profundidade as médias das TCR Obtidas ficaram entre -4,1 (maio/2003) e 7,1 $\%.\text{dia}^{-1}$ (setembro/2002) (Fig. 14B) e no terceiro metro, as médias variaram entre -2,9 (março/2003) e 3,5 $\%.\text{dia}^{-1}$ (fevereiro/2004) (Fig. 14C).

No primeiro metro de profundidade somente três dos quatorze experimentos mostraram médias das TCR Obtidas negativas; no segundo metro, 5 dos quatorze experimentos realizados mostraram taxas negativas enquanto no terceiro metro, cinco dos doze experimentos mostraram valores médios negativos (Fig. 14). De maneira geral, houve uma tendência de redução nas médias das TCR Obtidas do primeiro para o terceiro metro de profundidade.

Apesar de ter sido observada diferença significativa para as TCR Obtidas entre os meses para todas as profundidades, ($p= 0,000$), não houve padrão sazonal definido, da mesma forma que observado para o Local 1.

Assim como as médias das TCR Obtidas, aquelas das TCR Potenciais gradualmente diminuíram do primeiro para o terceiro metro de profundidade (Fig. 15). No primeiro metro, as médias das TCR Potenciais ficaram entre 2,2 (março/2003) e 8,4 $\%.\text{dia}^{-1}$ (maio/2004) (Fig. 15A). No segundo metro de profundidade, as médias variaram entre 1,8 (fevereiro/2003) e 7,7 $\%.\text{dia}^{-1}$ (setembro/2002) (Fig. 15B) e no terceiro, entre 1,8 (fevereiro/2003) a 4,7 $\%.\text{dia}^{-1}$ (agosto/2003) (Fig. 15C). Não houve tendência sazonal das TCR Potenciais em nenhuma das profundidades testadas, apesar de variações dos valores de TCR entre os meses testados.

Figura 14: Variação temporal das Taxas de Crescimento Relativo Obtidas (TCR Obtida, %.dia⁻¹) para mudas de *Gracilaria domingensis* cultivadas durante 1 semana no primeiro (A), segundo (B) e terceiro metros de profundidade (C), no Local 2.

Figura 15: Variação temporal das Taxas de Crescimento Relativo Potenciais (TCR Potencial, %dia⁻¹) para mudas de *Gracilaria domingensis* cultivadas durante 1 semana no primeiro (A), segundo (B) e terceiro metros de profundidade (C), no Local 2.

Os percentuais de mudas que apresentaram perda de biomassa durante o período experimental encontram-se na Tabela 15. Embora muito variáveis, estes valores ficaram abaixo de 50%, alcançando este percentual somente em cinco ocasiões. De uma maneira geral, as perdas de biomassa no Local 2 foram superiores às perdas observadas no Local 1.

Tabela 15: Percentual de mudas de *Gracilaria domingensis* que apresentaram perda de biomassa, cultivadas durante 1 semana no Local 2 ao longo de 2002/2004 em três intervalos de profundidades

Data do experimento	Intervalos de profundidade		
	0,2 – 1,0 m	1,2 – 2,0 m	2,2 – 3,0 m
05/09/02	19,4	3,3	13,3
29/11/02	16,7	30,0	53,3
05/02/03	30,0	43,3	26,7
07/03/03	36,7	50,0	33,3
20/03/03	30,0	43,3	53,3
27/03/03	48,0	36,0	36,0
04/04/03	20,0	27,5	-
16/05/03	53,3	56,7	-
21/08/03	30,0	23,3	40,0
25/09/03	0,0	3,3	6,7
06/11/03	36,0	24,0	12,0
25/02/04	0,0	0,0	3,3
20/05/04	20,0	30,0	30,0
04/08/04	20,0	16,7	16,7

A PE para os experimentos realizados no Local 2 para mudas cultivadas durante 1 semana encontra-se na Tabela 16. Dos quatorze experimentos realizados neste local, dez tiveram a PE calculada, ou seja, mais de 80% dos experimentos apresentaram um saldo positivo. Destes, nove tiveram a PE avaliada para o primeiro e segundo intervalos de profundidade e sete tiveram a estimativa de produtividade calculada no último intervalo de profundidade (Tab. 16).

Embora as estimativas de produtividade sejam muito variáveis ao longo do período experimental, foi possível obter, para um sistema com 12.500 cordas, valores de mais de 3 t ha⁻¹ ano⁻¹ em seis experimentos (abril, setembro e novembro/2003 e fevereiro, maio e agosto/2004), com máximo chegando a até 5,4 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Tab. 16). Na maior densidade de cordas a estimativa chega a 10,8 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Tab. 16).

Tabela 16: Produtividade estimada (PE, t ha⁻¹ ano⁻¹, peso úmido) de *Gracilaria domingensis* cultivada durante 1 semana, no Local 2. PE 1 = distância de 2 m entre *long lines*; PE 2 = distância de 1,5 m entre *long lines*; PE 3 = distância de 1 m entre *long lines*.

Data dos experimentos	Intervalos de profundidade	PE 1 (12.500 cordas)	PE 2 (18.750 cordas)	PE 3 (25.000 cordas)
05/09/02	0,2 – 1,0 m	0,74	1,11	1,48
	1,2 – 2,0 m	1,12	1,68	2,24
	2,2 – 3,0 m	0,10	0,15	0,20
	Integrado	1,96	2,94	3,92
29/11/02	0,2 – 1,0 m	0,60	0,90	1,20
	1,2 – 2,0 m	0,27	0,40	0,54
	Integrado	0,87	1,30	1,74
05/02/03	0,2 – 1,0 m	0,08	0,13	0,17
04/04/03	0,2 – 1,0 m	1,91	2,87	3,82
	1,2 – 2,0 m	1,10	1,65	2,20
	Integrado	3,01	4,52	6,02
21/08/03	1,2 – 2,0 m	0,84	1,26	1,68
	2,2 – 3,0 m	0,40	0,60	0,80
	Integrado	1,24	1,86	2,48
25/09/03	0,2 – 1,0 m	0,64	0,96	1,27
	1,2 – 2,0 m	2,87	4,30	5,73
	2,2 – 3,0 m	1,52	2,28	3,03
	Integrado	5,03	7,54	10,03
06/11/03	0,2 – 1,0 m	0,85	1,27	1,70
	1,2 – 2,0 m	1,85	2,78	3,71
	2,2 – 3,0 m	2,00	3,00	4,00
	Integrado	4,70	7,05	9,41
25/02/04	0,2 – 1,0 m	1,75	2,63	3,50
	1,2 – 2,0 m	1,68	2,52	3,36
	2,2 – 3,0 m	1,41	2,11	2,82
	Integrado	4,84	7,26	9,68
20/05/04	0,2 – 1,0 m	2,22	3,33	4,44
	1,2 – 2,0 m	0,76	1,15	1,53
	2,2 – 3,0 m	0,54	0,81	1,08
	Integrado	3,52	5,29	7,05
04/08/04	0,2 – 1,0 m	1,96	2,93	3,91
	1,2 – 2,0 m	1,68	2,52	3,36
	2,2 – 3,0 m	1,75	2,63	3,50
	Integrado	5,39	8,08	10,77

3.3.2 – Cultivos com duração de duas semanas

No Local 2, a maioria dos experimentos realizados mostrou valores negativos para 2 semanas de cultivo (Fig. 16). Nos dois primeiros metros de profundidade, somente três dos dez meses mostraram médias de TCR Obtidas positivas (Fig. 16A e B) e no último intervalo de profundidade, somente um dos oito experimentos

realizados apresentou média positiva (Fig. 16C). Mesmo quando positivas, estas foram muito baixas (Fig. 16C).

As médias das TCR Obtidas no primeiro metro de profundidade variaram de – 6,1 (fevereiro/2003) a 4,1 $\%.\text{dia}^{-1}$ (maio/2004) (Fig. 16A). No segundo metro as médias ficaram entre -5,7 (novembro/2002) e 2,0 $\%.\text{dia}^{-1}$ (maio/2004) e no terceiro metro, entre –5,6 (novembro/2002) e 0,3 $\%.\text{dia}^{-1}$ (maio/2004) (Fig. 16B e C, respectivamente). A comparação das TCR Obtidas para este local ao longo do período experimental mostrou diferença significativa para cada um dos três intervalos de profundidade testados ($p= 0,000$ para cada uma das análises). Apesar disso, não foi possível identificar um padrão sazonal para este local.

As médias das TCR Potenciais gradualmente diminuíram do primeiro ao último metro de profundidade (Fig. 17). No primeiro metro, as médias das taxas ficaram entre 2,5 (maio/2003) e 7,0 $\%.\text{dia}^{-1}$ (maio/2004) (Fig. 17A). No segundo metro as médias variaram entre 0,9 (agosto/2004) e 6,4 $\%.\text{dia}^{-1}$ (maio/2004) e no último metro de profundidade, variaram de 0,4 (novembro/2002) a 4,5 $\%.\text{dia}^{-1}$ (novembro/2003) (Fig. 17B e C, respectivamente).

A comparação das TCR Potenciais para este local ao longo do período experimental mostrou diferença significativa para cada um dos três metros de profundidade testados ($p= 0,038$ para o primeiro, $p= 0,019$ para o segundo e $p= 0,020$ para o último).

Figura 16: Variação temporal das Taxas de Crescimento Relativo Obtidas (TCR Obtida, %dia⁻¹) para mudas de *Gracilaria domingensis* cultivadas durante 2 semanas no primeiro (A), segundo (B) e terceiro metros de profundidade (C), Local 2.

Figura 17: Variação temporal das Taxas de Crescimento Relativo Potenciais (TCR Potencial, %dia⁻¹) para mudas de *Gracilaria domingensis* cultivadas durante 2 semanas no primeiro (A), segundo (B) e terceiro metros de profundidade (C), no Local 2.

Os percentuais de perda de biomassa neste local, para intervalo de cultivo de 2 semanas, mostraram-se bastante elevados, com a maioria dos experimentos apresentando percentuais acima de 50% (Tab. 17). Estes valores são bastante superiores aos observados para o Local 1, tanto para cultivos de 1 como de 2 semanas. São também superiores aos observados para cultivos de 1 semana neste

mesmo local. Estes valores que indicaram que este local seria pouco adequado para cultivar *G. domingensis* por períodos de tempo mais longos.

Tabela 17: Percentual de mudas de *Gracilaria domingensis* que apresentaram perda de biomassa, cultivadas durante 2 semanas no Local 2 ao longo de 2002/2004 em três intervalos de profundidade.

Data do experimento	Intervalos de profundidade		
	0,2 – 1,0 m	1,2 – 2,0 m	2,2 – 3,0 m
05/09/02	30,6	40,0	53,3
29/11/02	93,3		96,7
04/12/02	80,0	76,7	66,7
05/02/03		90,0	76,7
30/04/03	33,3	43,3	
16/05/03	86,7	83,3	
21/08/03	53,3	80,0	90,0
06/11/03	80,0	83,3	73,3
20/05/04	26,7	40,0	56,7
04/08/04	86,7	96,7	

A PE para os experimentos realizados no Local 2 encontra-se na Tabela 18. Dos dez experimentos realizados neste local, para o intervalo de cultivo de 2 semanas, apenas três tiveram a PE calculada, ou seja, menos de um terço dos experimentos apresentaram saldo positivo. Estes três experimentos tiveram a PE avaliada para os dois primeiros intervalos de profundidade e um no último intervalo.

As estimativas de produtividade foram muito variáveis e somente para o cultivo de maio/2004 o valor foi acima de $2 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, para PE 1 (12.500 cordas de cultivo) (Tab. 18).

Tabela 18: Produtividade estimada (PE, t ha⁻¹ ano⁻¹, peso úmido) de *Gracilaria domingensis* cultivada durante 2 semanas, no Local 2. PE 1 = distância de 2 m entre *long lines*; PE 2 = distância de 1,5 m entre *long lines*; PE 3 = distância de 1 m entre *long lines*.

Data dos experimentos	Intervalos de profundidade	PE 1 (12.500 cordas)	PE 2 (18.750 cordas)	PE 3 (25.000 cordas)
05/09/02	0,2 – 1,0 m	0,41	0,61	0,81
	1,2 – 2,0 m	0,07	0,10	0,14
	Integrado	0,48	0,71	0,95
30/04/03	0,2 – 1,0 m	1,30	1,94	2,59
	1,2 – 2,0 m	1,13	0,20	0,27
	Integrado	1,43	2,14	2,86
20/05/04	0,2 – 1,0 m	1,33	2,00	2,67
	1,2 – 2,0 m	0,77	1,16	1,54
	2,2 – 3,0 m	0,11	0,17	0,23
	Integrado	2,22	3,33	4,44

3.4 – Comparação das taxas de crescimento de *Gracilaria domingensis* e *Gracilaria caudata* cultivadas em diferentes profundidades e tempos de cultivo

G. domingensis e *G. caudata* apresentaram comportamentos bastante similares com relação à profundidade e à duração do cultivo, não sendo possível observar diferença significativa das TCR obtidas entre as duas espécies. Apesar disto, *G. caudata* apresentou uma tendência TCR mais elevadas, no segundo e terceiro metro de profundidade, em cultivos com duração de até 3 semanas (Fig. 18). Esta tendência se deve, parcialmente, ao menor percentual de mudas com perda de biomassa para esta espécie, como pode ser observado na Tabela 19.

Gracilaria domingensis apresentou médias de TCR Obtidas para variando entre 1,1 %.dia⁻¹ (4 semanas, primeiro metro de profundidade, Fig. 18A) e 4,7 %.dia⁻¹ (4 semanas, terceiro metro de profundidade, Fig. 18E). *G. caudata* apresentou médias de TCR Obtidas variando entre 1,3%.dia⁻¹ (4 semanas, primeiro intervalo de profundidade, Fig. 18A) e 5,0%.dia⁻¹ (3 semanas, segundo intervalo de profundidade, Fig. 18C). Os valores de TCR Obtidas menos elevados para ambas espécies foram observados para 4 semanas de cultivo, no primeiro metro de profundidade (0,2 – 1,0 m).

Embora não tenha havido diferenças significativas nas TCR Obtidas entre os tempos de cultivo, houve uma tendência de diminuição dos valores de TCR com o aumento do tempo de cultivo para o primeiro metro. No segundo e terceiro metro ocorreu o contrário, com aumento das TCR Obtidas com o aumento do tempo de cultivo.

As médias das TCR Potenciais de *G. domingensis* variaram entre 3,3 (3 semanas de cultivo, no terceiro metro) (Fig. 18F) e 7,0 %.dia⁻¹ (4 semanas de cultivo,

no terceiro metro) (Fig. 18F). As médias das TCR Potenciais de *G. caudata* variaram entre 2,6 (1 semana, no terceiro metro) (Fig. 18F) e 5,2 $\%.\text{dia}^{-1}$ (2 semanas, no segundo metro) (Fig. 18D).

Os percentuais de mudas de *G. domingensis* e de *G. caudata* que apresentaram perda de biomassa nos diferentes intervalos de cultivo encontram-se na Tabela 19. Em geral, *G. domingensis* apresentou maior número de algas com perda de biomassa que *G. caudata* em todos os intervalos de profundidade e de tempo de cultivo. Os maiores percentuais de perdas foram observados, em geral, para o primeiro metro de profundidade e para 4 semanas de cultivo.

As PE para *G. domingensis* e *G. caudata* estão apresentadas na Tabela 20. *G. domingensis* apresentou estimativas mais elevadas que *G. caudata* em todos os intervalos de tempo de cultivo, em parte devido às diferenças nos valores iniciais de biomassa, que foram de 2 a 4 g para *G. domingensis* e 1 a 3 g para *G. caudata*. Estas diferenças de biomassas iniciais ocorreram devido à menor biomassa de *G. caudata* para montagem do experimento. As maiores PE para *G. domingensis* ocorreram nos cultivos com duração de 3 e 4 semanas, chegando a 5,4 $\text{t}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ na menor densidade de cordas e 10,7 $\text{t}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ na maior densidade (Tab. 20). As maiores PE para *G. caudata* ocorreram nos cultivos com duração de 2 e 3 semanas, chegando a 3,14 $\text{t}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ na menor densidade de cordas e 6,2 $\text{t}.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ na maior densidade (Tab. 20).

Figura 18: Taxas de Crescimento Relativo Obtidas (TCR Obtida, %dia⁻¹) e Potenciais (TCR Potencial, %dia⁻¹) de *Gracilaria domingensis* (barras pretas) e *G. caudata* (barras cinzas) cultivadas durante 1 a 4 semanas no primeiro (A, B), segundo (C, D) e terceiro metro de profundidade (E, F), no Local 1.

Tabela 19: Percentual de mudas de *Gracilaria domingensis* e de *G. caudata* com perda de biomassa, em intervalos de tempo de cultivo de 1, 2, 3 e 4 semanas em três intervalos de profundidade.

Intervalos de tempo	Intervalos de profundidade	<i>G. domingensis</i>	<i>G. caudata</i>
1 semana	0,2 – 1,0 m	33,3	6,7
	1,2 – 2,0 m	20,0	10,0
	2,2 – 3,0 m	26,7	10,0
2 semanas	0,2 – 1,0 m	20,0	23,3
	1,2 – 2,0 m	20,0	16,7
	2,2 – 3,0 m	26,7	6,7
3 semanas	0,2 – 1,0 m	23,3	20,0
	1,2 – 2,0 m	16,7	0,0
	2,2 – 3,0 m	16,7	0,0
4 semanas	0,2 – 1,0 m	53,3	40,0
	1,2 – 2,0 m	23,3	10,0
	2,2 – 3,0 m	26,7	16,7

Tabela 20: Produtividade estimada (PE, t.ha⁻¹.ano⁻¹, peso úmido) de *Gracilaria domingensis* em diferentes intervalos de tempo e de profundidade no Local 1. PE 1 = distância de 2 m entre *long lines*; PE 2= distância de 1,5 m entre *long lines*; PE 3 = distância de 1 m entre *long lines*.

Intervalos de tempo	Profundidade	PE 1 (12.500 cordas)		PE 2 (18.750 cordas)		PE 3 (25.000 cordas)	
		<i>G. domingensis</i>	<i>G. caudata</i>	<i>G. domingensis</i>	<i>G. caudata</i>	<i>G. domingensis</i>	<i>G. caudata</i>
1 semana	0,2 – 1,0 m	1,35	0,71	2,03	1,06	2,70	1,42
	1,2 – 2,0 m	1,15	0,51	1,72	0,77	2,30	1,03
	2,2 – 3,0 m	0,37	0,60	0,55	0,89	0,73	1,19
	Integrado	2,87	1,82	4,30	2,73	5,74	3,64
2 semanas	0,2 – 1,0 m	1,54	0,88	2,31	1,32	3,08	1,76
	1,2 – 2,0 m	1,15	1,09	1,73	1,63	2,30	2,18
	2,2 – 3,0 m	0,99	1,14	1,48	1,71	1,97	2,28
	Integrado	3,68	3,11	5,52	4,66	7,36	6,22
3 semanas	0,2 – 1,0 m	1,61	0,85	2,41	1,28	3,22	1,71
	1,2 – 2,0 m	2,07	1,24	3,11	1,87	4,15	2,49
	2,2 – 3,0 m	1,14	1,02	1,71	1,53	2,29	2,03
	Integrado	4,83	3,12	7,24	4,68	9,65	6,23
4 semanas	0,2 – 1,0 m	0,51	0,32	0,77	0,48	1,02	0,63
	1,2 – 2,0 m	2,41	1,24	3,61	1,85	4,82	2,47
	2,2 – 3,0 m	2,46	0,79	3,68	1,19	4,91	1,59
	Integrado	5,38	2,35	8,06	3,52	10,75	4,69

4 – DISCUSSÃO

4.1 – Desenvolvimento de tecnologia de cultivo para *G. domingensis*

Um primeiro aspecto que deve ser levado em consideração quando se pensa em empreendimentos de maricultura é a escolha de locais adequados para a espécie em questão. Como exemplo, os locais selecionados para o cultivo de moluscos, um dos grandes ramos da maricultura nacional, são enseadas e baías com mar calmo ao mesmo tempo em que a circulação de água permita uma boa taxa de troca, condições estas adequadas também para o cultivo de macroalgas.

Além disso, a viabilidade de cultivo para espécies de macroalgas depende também da espécie alvo e diferentes abordagens metodológicas devem ser analisadas visando a melhor produtividade do sistema.

Com este objetivo, este estudo avaliou diferentes tecnologias de cultivo, tais como profundidade, tempo, técnica de fixação das mudas às cordas de cultivo, espaçamento entre as mudas e biomassa inicial. Dentre estes experimentos, foi verificado que as mudas cultivadas na superfície (0 m) estavam mais sujeitas à quebra devido ao manejo do *long line*, resultando em TCR negativas. Por este motivo, esta profundidade de cultivo foi excluída nos experimentos posteriores e sua utilização não é recomendada neste sistema de cultivo para *G. domingensis*.

Em termos gerais, as médias das TCR Obtidas para *G. domingensis* foram mais elevadas no primeiro e no segundo metro de cultivo, demonstrando que estas profundidades foram as mais indicadas. Apesar do menor potencial de crescimento, o terceiro metro pode também ser utilizado para o cultivo de *G. domingensis*, particularmente nos meses de maior transparência da água. Mas, em termos de custo/benefício (mão de obra e rendimento em biomassa), os dois primeiros metros apresentam maior potencial.

Em situações de calmaria e de alta transparência, as estimativas de produtividade considerando os três intervalos de profundidade, poderiam atingir os valores sugeridos por SMITH *et al.* (1984), que reportaram uma produtividade de 5 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para *G. domingensis* cultivada em um sistema de cordas fixas entre estacas presas a fundos arenosos, em uma área abrigada no Caribe. Tal produtividade, segundo estes autores é indicada para um cultivo do tipo familiar.

Ao comparar a duração do cultivo observa-se que houve muita perda de biomassa, particularmente a partir da segunda semana (acima de 30 %, ver Tab. 1). Na primeira semana do cultivo, ocorreram dois dias de vento leste forte com mar bravo

(Anexo 1). Apesar da perda de biomassa neste período, as taxas de crescimento ainda foram elevadas, variando de 1,4 a 7,1 %. dia^{-1} (Fig. 5), sendo estes valores semelhantes àqueles observados para outras espécies de *Gracilaria* em sistemas de cultivo (Tab. 22).

As mudas cultivadas durante 2 semanas experimentaram, além dos 2 dias de vento leste forte da primeira semana, mais um evento de vento leste de intensidade moderada. As condições do mar para as mudas cultivadas durante 3 semanas foram piores, que ficaram sujeitas no total a sete dias de vento leste com mar bravo. Esta terceira semana de cultivo foi a que apresentou condições mais adversas e seu efeito pôde ser observado também nas mudas cultivadas durante 4 semanas. Os resultados obtidos neste experimento foram fortemente influenciados pelos eventos de “lestadas”, não refletindo o real potencial de cultivo de *G. domingensis* na Enseada e por este motivo, intervalos de tempo de cultivo mais longos, de até 4 semanas foram testados em outras ocasiões, mostrando resultados muito diferentes dos observados neste experimento. Desta forma, em condições ambientais desfavoráveis, recomenda-se que o intervalo de tempo seja de a 1 a 2 semanas.

SCHETTINI *et al.* (1999), entretanto, afirmam que o padrão para a Enseada de Armação do Itapocoroy é de ventos fracos durante a maior parte do tempo, com ventos provenientes principalmente do oeste, nordeste e sudoeste. Segundo estes autores, esporadicamente pode ocorrer o fenômeno de “lestada”, que são as ondulações provenientes de leste, sendo este o sistema mais energético que atua na dinâmica sedimentar da Enseada, podendo até causar prejuízos às estruturas de cultivo de mexilhões e estes eventos foram registrados na Enseada durante o período experimental, de acordo com os dados do Anexo 1.

Um dos melhores exemplos de que em situações de calmaria, as algas podem ser mantidas em campo pelo menos por um período de 4 semanas, pode ser observado quando comparamos o desempenho de *G. domingensis* e *G. caudata* (Fig. 18, Tab. 19). Neste experimento, que ocorreu num período de calmaria, as taxas de crescimento de *G. domingensis* aumentaram ao longo do tempo, o que se refletiu diretamente sobre o rendimento em biomassa. Neste caso, a produtividade estimada ao final de 4 semanas poderia superar 10 t. $\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Além de representar um ótimo rendimento, o benefício também poderia ser visto como economia de mão de obra, uma vez que a montagem do cultivo seria efetuada 1 vez e a manutenção em campo ocorreria mensalmente.

O presente estudo apresenta-se como um dos poucos a comparar técnicas de fixação das mudas às cordas de cultivo, tendo em vista que a maioria dos estudos

realizados com *Gracilaria* em sistemas de cultivo suspensos utilizou mudas inseridas (HURTADO-PONCE, 1990; WAKIBIA *et al.*, 2001; MARINHO-SORIANO *et al.*, 2002a; MARINHO-SORIANO, 2005), embora alguns estudos tenham utilizado a técnica de amarração (ANDERSON *et al.*, 2001).

Nossos resultados mostraram que ambas técnicas foram igualmente adequadas para o primeiro metro de profundidade. No entanto, mudas amarradas apresentaram melhor desempenho quanto às suas taxas de crescimento no segundo metro de profundidade. Por outro lado, quando levado em consideração o tempo necessário para preparar as cordas de cultivo, constatou-se que a técnica de amarração necessitou de um esforço de cultivo muito maior, tanto na preparação das cordas, como após a coleta para a limpeza destas, independente do material utilizado, a qual levou praticamente o dobro do tempo necessário, se comparada àquela de inserção.

Um aspecto importante para a utilização da técnica de inserção é o tipo de corda a ser empregada, visto que aquelas fabricadas com materiais muito rígidos (e.g. polipropileno) podem causar a fragmentação dos talos nos pontos de inserção. Tal fato foi observado por SMITH *et al.* (1984), os quais cultivaram *G. domingensis* inseridas na trama das cordas de cultivo e constataram que as mudas foram muito propensas à fragmentação no ponto de inserção, o que poderia ser atribuído ao tipo de corda utilizada. Contudo, em alguns dos nossos resultados os altos percentuais de perda de biomassa não podem ser imputados ao material empregado para a inserção das mudas, uma vez que o tipo das cordas utilizadas foi “fio de seda”. Outro aspecto a ser considerado é a escolha do tipo de corda e da técnica de fixação das mudas devendo ser levada em consideração a morfologia da espécie, a qual do ponto de vista do manejo durante o cultivo pode apresentar-se mais suscetível à fragmentação.

Uma forma alternativa ao sistema de cultivo proposto seria cultivar *G. domingensis* com as mudas inseridas na trama das cordas de cultivo no primeiro metro e amarradas nos demais intervalos de profundidade, procurando desenvolver um sistema mais produtivo para *G. domingensis*.

Visando sistemas de cultivo mais produtivos, outros aspectos importantes devem ser levados em consideração, como o espaçamento entre mudas e a biomassa inicial do sistema. Nossos resultados permitiram concluir que menores espaçamentos entre mudas (5 e 10 cm) apresentaram melhores desempenhos, indicando ser estes os mais apropriados para o sistema proposto. Embora espaçamento de 5 cm tenha sido o mais produtivo, seu manejo foi o mais difícil, tendo em vista o pequeno espaço existente entre as mudas, sendo necessário um cuidado maior para manipular as cordas de cultivo para não fragmentar as mudas. Em espaçamento de 20 cm entre

mudas a produtividade estimada para *G. domingensis*, comparada às calculadas para os outros espaçamentos, não se mostrou conveniente. Estes resultados diferiram do observado por HURTADO-PONCE (1990), que não observou diferença entre 10, 15 e 20 cm entre mudas, indicando que qualquer um destes poderia fornecer altos rendimentos.

Biomassas intermediárias (2 e 5 g) mostraram-se igualmente indicadas para o sistema de cultivo em contrapartida àquelas de 8 g, as quais foram mais propensas à fragmentação e conseqüente perda de biomassa.

Desta forma, nossos resultados mostraram que sistemas de cultivo mais produtivos poderiam ser obtidos com menores espaçamentos entre mudas e biomassas iniciais menores que 5 g. Tais resultados coincidem com os apresentados por SANTELICES *et al.* (1993), que observaram maior produtividade quando cultivaram muitas mudas pequenas em espaçamentos menores, do que a obtida por grandes mudas em espaçamentos maiores.

Todos os experimentos metodológicos discutidos até o momento visaram estabelecer tecnologias de cultivo com os melhores desempenhos para *G. domingensis*. Os resultados mostraram-se indicados para desenvolver um sistema de cultivo do tipo familiar, com produtividades similares àquelas estimadas por SMITH *et al.* (1984).

4.2 – Avaliação do cultivo de *G. domingensis* ao longo do tempo

As taxas de crescimentos de *G. domingensis* nos dois locais de cultivo mostraram que tais valores variaram muito ao longo do tempo. Isso demonstra a ausência de um padrão em suas taxas de crescimento ao longo do ano, não importando o local e o intervalo de tempo de cultivo considerado. Provavelmente isso seja conseqüência do hidrodinamismo que afetou os cultivos. As condições hidrodinâmicas de curto prazo parecem ter maior influência sobre os cultivos do que um padrão sazonal possa imprimir. Os dados apresentados nestes experimentos corroboram WESTERMEYER *et al.* (1993), onde os autores afirmam que a maior dificuldade do cultivo no mar está em obter uma produção sustentável em um ambiente que muda constantemente.

Assim, mesmo que possa existir um padrão sazonal nas taxas de crescimento de *G. domingensis*, tal fato foi mascarado pelas condições às quais os cultivos foram expostos durante o período experimental. Embora não mostre um claro padrão sazonal, os valores observados foram similares aos verificados para outras espécies

de *Gracilaria* mostrando que variações existem também em diversos sistemas de cultivo (Tab. 21).

A mesma falta de padrão nas taxas de crescimento de *G. gracilis* e *Gracilariopsis* sp. foi observada por WAKIBIA *et al.* (2001) na África do Sul, em um sistema de cultivo suspenso em mar aberto, similar ao nosso. Estes autores não observaram um claro padrão sazonal, mas diferenças de mês a mês.

Desta forma, tanto o Local 1 quanto o Local 2 são convenientes para o cultivo para intervalos de 1 semana de cultivo. Para o intervalo de cultivo de 2 semanas, ao contrário do que foi observado no Local 1, o Local 2 não parece ser conveniente, com TCR Obtidas negativas em sua maioria, mostrando um desempenho muito baixo nos cultivos.

Tabela 21: Taxas de crescimento relativo (TCR) para diferentes espécies de *Gracilaria* em diferentes sistemas de cultivo (^aTCR Potencial).

Espécie	Técnica de cultivo	País	TCR (%.dia ⁻¹)
<i>G. domingensis</i> ¹	Mar aberto, vertical	Brasil, SC	1,8 – 10,5 ^a
<i>G. domingensis</i> ²	Mar aberto, horizontal	Brasil, BA	4,52 a 10,04
<i>Gracilaria</i> sp. ³	Policultivo em tanques de camarões	Brasil, RN	1,8 a 8,8
<i>Gracilaria birdiae</i> ⁴	Mar aberto, horizontal	Brasil, RN	-1,8 a 4,5
<i>Gracilaria</i> sp. (= <i>G. caudata</i>) ⁵	Mar aberto, vertical	Brasil, SP	3,95 a 10,45
<i>G. cornea</i> ⁶	Mar aberto, horizontal	Brasil, BA	7,50 a 12,10
<i>G. cornea</i> ⁹	Baía, horizontal	Venezuela	1.4 a 2.5
<i>G. chilensis</i> ⁷	Estuário, horizontal	Chile	1,8 a 4,6
<i>G. parvispora</i> ⁸	Laguna, tanque rede (policultivo)	Havai	4,6 a 10,4
<i>G. gracilis</i> ⁹	Mar aberto, vertical	África do Sul	1 a 10
<i>G. gracilis</i> ¹⁰	Baía, horizontal	Namíbia	0.84 a 4.15
<i>G. tenuistipitata</i> ¹¹	Piscinas, tanque rede	China	1,5 a 3,3

¹Presente trabalho; ²Accioly (2004); ³Marinho-Soriano *et al.* (2002b); ⁴Marinho-Soriano (2005); ⁵Assad-Ludewigs (1984); ⁶Rincones (1989); ⁷Santelices *et al.* (1993); ⁸Nelson *et al.* (2001); ⁹Anderson *et al.* (2001); ¹⁰Dawes (1995); ¹¹Chaoyuan *et al.* (1993).

4.3 – Comparação das taxas de crescimento de *G. domingensis* e *G. caudata*

As condições climáticas no período deste experimento foram propícias para o cultivo de *G. domingensis* e de *G. caudata*, com mar calmo a moderado e sem de vento leste forte para a maior parte deste período (Anexo 1), condições estas atestadas pelo ótimo desempenho de ambas espécies no cultivo.

Em condições climáticas apropriadas, com mar calmo e sem vento forte, os resultados mostraram que as TCR Obtidas foram similares para ambas em cada intervalo de profundidade, independente da duração do cultivo. Assim, do ponto de

vista de um possível cultivo comercial, *G. domingensis* e *G. caudata* podem ser cultivadas.

Embora as taxas de crescimento não tenham apresentado diferenças, as produtividades estimadas para *G. domingensis* foram mais elevadas, aumentando conforme aumentou o tempo de cultivo. Para *G. caudata*, por outro lado, as produtividades estimadas aumentaram somente até 2 semanas de cultivo. A partir de então, os valores estagnaram em 3 semanas de cultivo e diminuíram para as mudas cultivadas por 4 semanas, indicando o menor potencial de produção de *G. caudata* para intervalos de tempo de cultivo mais longos, no sistema proposto. As causas para essa queda nas taxas de *G. caudata* não são conhecidas, mas parecem ser respostas intrínsecas da espécie, uma vez que as condições do mar eram calmas e estáveis e o cultivo de *G. domingensis* nas mesmas condições mostrou um incremento nas taxas e não uma queda, como observado para *G. caudata*.

5 – RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS PARA UM BOM DESEMPENHO DO CULTIVO

- 1 – É interessante que se utilize mudas de até 5 g, pois mudas maiores tendem se fragmentar. Mudanças pequenas, de menos de 2 g devem ser evitadas.
- 2- O espaçamento entre mudas deve ser maior que 5 cm. Pouco espaço entre mudas dificulta o manejo das cordas, muito espaçamento reduz o rendimento.
- 3 – O cultivo deve ser realizado em até 2 m de profundidade para melhor aproveitamento da coluna d'água.
- 3 - Evitar o cultivo junto à superfície, pois o manejo das cordas aumenta a probabilidade de quebra nesta profundidade.
- 4 - Como o crescimento das algas está relacionado, entre outros fatores, à quantidade de luz, é importante manter a estrutura de cultivo sempre limpa, pois o crescimento de organismos incrustantes comuns nas áreas de cultivo aumenta o peso da estrutura, fazendo com que toda a estrutura de cultivo afunde, conseqüentemente diminuindo a produtividade do sistema.
- 5 - Em ocasiões de alta hidrodinamismo (ressacas, “lestadas”, etc) é recomendável coletar toda a biomassa, pois é comum a quebra das mudas devido à grande energia destes eventos.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, M. C. 2004. *Desenvolvimento da maricultura artesanal de macroalgas no baixo-sul baiano*. Tese de doutorado. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 164p.
- ACCIOLY, M. C. & PAULA, E. J. 2002. Seleção de rodofíceas com potencial econômico para cultivo na região do baixo-sul baiano. *In: IX Reunião Brasileira de Ficologia*, Santa Cruz, Aracruz, Espírito Santo. 02 a 06 de março de 2002. Sociedade Brasileira de Ficologia & Fundação Ecossistemas do Espírito Santo: 107.
- AJISAKA, T. & CHIANG Y. M. 1993. Recent status of *Gracilaria* cultivation in Taiwan. *Hydrobiologia* **260/261**: 335-338.
- ALVEAL, K. 2006. Seaweed resources of Chile. *In: CRITCHLEY, A. T.; OHNO, M. & Largo, D. B. (eds). World Seaweed Resources. An authoritative reference system. DVD rom (ISBN 90 75000 80 4). ETI Informations Services LTD.*
- ANDERSON, R. J.; BOOTHROYD, C. J. T.; KEMP, F. A. & ROTHMAN, M. D. 2001. Open-water cultivation of *Gracilaria* in South Africa: Saldanha bay or St Helena Bay? *Proc. 17th Int. Seaw. Symp.*: 35-40.
- ASSAD-LUDEWIGS, I. Y. 1984. *Estudos sobre a biologia de uma espécie de Gracilaria (Rhodophyta, Gigartinales) do litoral norte do estado de São Paulo, Brasil*. Tese de doutorado. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 190 p.
- BELLORIN, A. M. 2002. *Sistemática e filogenia molecular de algas gracilarióides (Gracilariaceae, Rhodophyta)*. Tese de doutorado. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 194 p.
- CÂMARA NETO, C. 1987. Seaweed culture in Rio Grande do Norte, Brazil. *Hydrobiologia* **151/152**: 363-367.
- CHAOYUAN, W., LI, R., LIN, G., WEN, Z., DONG, L., ZHANG, J., HUANG, X., WEI, S. & LAN, G. 1993. Some aspects of the growth of *Gracilaria tenuistipitata* in pond culture. *Hydrobiologia* **260/261**: 339-343.

- CHOW, F.; MACCHIAVELLO, J.; SANTA-CRUZ, S.; FONCK, E. & OLIVARES, J. 2001. Utilization of *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta: Gracilariaceae) as a biofilter in the depuration of effluents from tank cultures of fish, oysters and sea urchins. *J. World Aqua. Soc.* **32**: 215-220.
- CUNHA, S. R.; PAZETO, F. D.; CRESTANI, D. E. V.; LIMA, G. B.; NASCIMENTO, J.; SANT'ANNA, F.; MANZONI, G. C.; MARENZI, A. W. C. & MAFRA, L. L. 1999. Potencial de crescimento de macroalgas cultiváveis presentes na Enseada de Armação do Itapocoroy (Penha, SC): avaliação preliminar. *Notas Téc. Facimar* **3**: 17-25.
- DAWES, C. P. 1995. Suspended cultivation of *Gracilaria* in the sea. *J. App. Phycol.* **7**: 303-313.
- DAWES, C. J. 1998. Marine Botany. 2^a Ed. Ed. John Wiley & Sons. New York. 480p.
- FAO. 2004. The state of world fisheries and aquaculture. FAO Fisheries Department. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 153 p.
- GRAHAM, L. E. & WILCOX, L. W. 2000. Algae. Prentice Hall, USA, 640 pp.
- HANISAK, M. D. 1998. Seaweed cultivation: global trends. *World Aquaculture* **29**: 18-21.
- HURTADO-PONCE, A. Q. 1990. Vertical rope cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta) using vegetative fragments. *Bot. Mar.* **33**: 477-481.
- JENSEN, A. 1993. Present and future needs for algae and algal products. *Hydrobiologia* **260/261**: 15-23.
- LIMA, A. M.; CÂMARA NETO, C.; OLIVEIRA, E. C. & ARAÚJO, R. A. 1981. Cultivo experimental de *Hypnea musciformis* e *Gracilaria* sp. em áreas protegidas por antigas linhas de costa (recifes) no litoral do Rio Grande do Norte. In: Projeto Algas. Estado do Rio Grande do Norte. Série: Brasil. SUDENE. *Estudos de Pesca* **9**: 97-107.
- MARINHO-SORIANO, E. 2005. Cultivo experimental de *Gracilaria* no Rio Grande do Norte, Brasil. In: X Reunião Brasileira de Ficologia, Salvador, Bahia. 2004. Museu Nacional: RJ. Org. Sociedade Brasileira de Ficologia (Série Livros, 10): 115-124.

- MARINHO-SORIANO, E.; MOREIRA, W. S. C. & CARNEIRO, M. A. A. 2002a. Estudo sobre o cultivo de *Gracilaria* (Rhodophyta, Gracilariaceae) em estuário. *In*: IX Reunião Brasileira de Ficologia, Santa Cruz, Aracruz, Espírito Santo. 02 a 06 de março de 2002. Sociedade Brasileira de Ficologia & Fundação Ecossistemas do Espírito Santo: 103.
- MARINHO-SORIANO, E.; MORALES, C. & MOREIRA, W. S. C. 2002b. Cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta) in shrimp pond effluents in Brazil. *Aquac. Res.* **33**: 1081-1086.
- MATULEWICZ, M. C. 1996. Polisacáridos de algas rojas: agar. *In*: FERRARIO, M. & SAR, E. (eds). Macroalgas de interés económico. Cultivo, manejo, industrialización. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 111-133pp.
- McHUGH, D. J. 2003. A guide to the seaweed industry. *FAO Fisheries Technical Paper N° 441*. Rome. 105p.
- NELSON, S. G., GLENN, E. P., CONN, J., MOORE, D., WALSH, T. & AKUTAGAWA, M. 2001. Cultivation of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in shrimp-farm effluent ditches and floating cages in Hawaii: a two-phase polyculture system. *Aquaculture* **193**: 239-248.
- OHNO, M. & LARGO, D. 1998. The seaweed resources of Japan. *In*: CRITCHLEY, A. T. & OHNO, M. (eds). *Seaweed resources of the world*. Japan Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 1-14pp.
- OLIVEIRA, E. C. 1977. *Algas marinhas bentônicas do Brasil*. Tese de livre-docência. Universidade de São Paulo, São Paulo. 407p.
- OLIVEIRA, E. C. 1998. The seaweed resources of Brazil. *In*: CRITCHLEY, A. T. & OHNO, M. (eds). Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 366-371pp.
- OLIVEIRA, E. C. & ALVEAL, K. 1990. The mariculture of *Gracilaria* (Rhodophyta) for the production of agar. *In*: AKATSUKA, I. (ed). Introduction to Applied Phycology. SPB Academic Publishing. Netherlands. 553-564pp.
- OLIVEIRA, E. C. & MIRANDA, G. E. C. 1998. Aspectos sociais e econômicos da exploração de algas marinhas no Brasil. *In*: PAULA, E. J.; CORDEIRO-MARINO, M.; SANTOS, D. P.; PLASTINO, E. M.; FUJII, M. T. & YOKOYA, N. S. (eds). *Anais*

- do IV Congresso Latino-americano, II Reunião Ibero-americana, VII Reunião Brasileira de Ficologia. Caxambu, MG. Sociedade Ficológica da América Latina e Caribe & Sociedade Brasileira de Ficologia: 149-156.
- OLIVEIRA, E. C. & PLASTINO, E. M. 1994. Gracilariaceae. In: AKATSUKA, I. (ed). Biology of economic seaweeds. SPB Academic Publishing. Netherlands. 185-226pp.
- OLIVEIRA, E. C.; ALVEAL, K. & ANDERSON, R. J. 2000. Mariculture of the agar-producing gracilarioid red algae. *Rev. Fish. Sci.* **8** (4): 345-377.
- OLIVEIRA, E. C.; PAULA, E. J. & BERCHEZ, F. A. S. 1989. Essays on the cultivation of tropical red seaweeds in tanks. In: OLIVEIRA, E. C. & KAUTSKY, N. (eds). Workshop Cultivation of seaweeds in Latin America. Universidade de São Paulo - Int. Foundation for Science. São Sebastião, São Paulo. 79-87pp.
- PAZETO, F. D. 2001. *Cultivo experimental de Gracilaria domingensis (Gracilariaceae, Rhodophyta) e avaliação do seu teor de ágar*. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí. Santa Catarina. 34p.
- RINCONES, R. E. 1989. Experimental cultivation of an agarophyte alga: *Gracilaria cornea* in the Northwest coast of Venezuela. In: Workshop - Cultivation of seaweeds in Latin America, Univ. S. Paulo/ Int. Foundation for Science, São Paulo: 65-67.
- SANTELICES, B., WESTERMEIER, R. & BOBADILHA, M. 1993. Effects of stock loading and plant distance on the growth and production of *Gracilaria chilensis* in rope culture. *J. Appl. Phycol.* **5**: 517-524.
- SCHETTINI, C. A. F.; CARVALHO, J. B. L. & TRUCCOLO, E. C. 1999. Aspectos hidrodinâmicos da Enseada da Armação de Itapocoroy, SC. *Notas Téc. Facimar* **3**: 99-109.
- SMITH, A. H.; NICHOLS, K. & McLACHLAN, J. 1984. Cultivation of seamoss (*Gracilaria*) in St. Lucia, West Indies. *Hydrobiologia* **116/117**: 249-251.
- TEIXEIRA, D. I. A.; BEZERRA, C. A. B.; CHAVES, R. V. O.; MASI NETO, T. & SOUZA, B. W. S. 2002. Cultivo da alga marinha *Gracilaria* sp. nas praias de Flexeiras e Guagiru – Ceará – Brasil. In: IX Reunião Brasileira de Ficologia, Santa

Cruz, Aracruz, Espírito Santo. 02 a 06 de março de 2002. Sociedade Brasileira de Ficologia & Fundação Ecosystemas do Espírito Santo: 95.

WAKIBIA, J. G.; ANDERSON, R. J. & KEATS, D. W. 2001. Growth rates and agar properties of three gracilarioids in suspended open-water cultivation in St. Helena Bay, South Africa. *J. App. Phycol.* **13**: 195-207.

WESTERMEIER, R.; GÓMEZ, I. & RIVERA, P. 1993. Suspended farming of *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta, Gigartinales) at Cariquilda River, Maullín, Chile. *Aquaculture* 113: 215-229.

WIKFORS, G. H. & OHNO, M. 2001. Impact of algal research in aquaculture. *J. Phycol.* **37**: 968-974.

ZAR, J. H. 1999. Biostatistical Analysis. 4th ed. Prentice Hall. New Jersey, EUA. 661 p.

Capítulo III

O ágar de *Gracilaria domingensis* e de *Gracilaria caudata*

RESUMO

O gênero *Gracilaria* é hoje a principal fonte de ágar, especialmente aquele voltado para o mercado de ágar alimentício. Este gênero tornou-se economicamente importante após a descoberta de que o tratamento alcalino para a extração de ágar aumenta a quantidade de 3,6-anidrogactose ao mesmo tempo em que diminui o teor de sulfato, fatos que contribuem significativamente para o aumento do poder de gelificação do ficocolóide. Dentre as espécies de *Gracilaria* que ocorrem em Santa Catarina as mais abundantes são *G. domingensis* e *G. caudata*, selecionadas como objeto de nosso estudo. Neste capítulo, analisamos diferentes protocolos de extração de ágar para as duas espécies mencionadas, tanto para material obtido das populações naturais como cultivadas na Enseada de Armação do Itapocoroy (Penha, Santa Catarina). Os resultados contemplam a extração de ágar nativo, pré-tratamento alcalino a quente e a frio, pré-tratamento ácido, pré-tratamento ácido seguido da adição de CaCl_2 e extração com CaCl_2 . *G. domingensis* apresentou maior rendimento de ágar do que *G. caudata* em todos os protocolos comparados. Para *G. domingensis*, o protocolo para a extração de ágar que apresentou melhores características (rendimento, teor de 3,6-anidrogactose e sulfato) foi aquele com CaCl_2 enquanto que para *G. caudata* o pré-tratamento alcalino a frio com NaOH foi o mais apropriado. Estes resultados sugerem a existência de diferença na composição do ágar destas espécies, mostrando que condições ótimas de extração devem ser estudadas tanto para *G. domingensis* como para *G. caudata*. Extrações com metodologias não apropriadas poderiam levar à obtenção de géis de baixa qualidade, subestimação da alga como matéria-prima para a extração de ágar e/ou limitações nas perspectivas de diversificação de suas aplicações industriais. Este é um dos poucos trabalhos que avalia diferentes condições para a extração de ágar de *G. domingensis*, demonstrando que as metodologias mais utilizadas na literatura não foram as que mostraram melhores rendimentos para esta espécie. Considerando o alto rendimento de ágar de *G. domingensis* pode-se sugerir o potencial desta espécie como um recurso explotável para a produção de ágar, especialmente para seu uso como ágar alimentício. As características do ágar de *G. domingensis* avaliadas, embora tenham apresentado diferenças significativas ao longo do período experimental, variaram dentro de uma estreita faixa de valores, tanto para mudas provenientes dos cultivos como do banco natural indicando que esta espécie pode ser coletada em qualquer época do ano.

ABSTRACT

The genus *Gracilaria* represents nowadays one of the most important sources of agar, especially for food grade agar. This genus became economically important after the discovery that alkaline treatment before agar extraction increases the amount of 3,6-anhydrogalactose and decreases the sulphate content, increasing its gelification power. Among the species of *Gracilaria* found in Santa Catarina, *G. domingensis* and *G. caudata* are the most abundant and promising for exploitation. In this chapter we tested several protocols for agar extraction aiming to develop the best procedure for both species, comparing material from the natural populations within ones obtained in mariculture experiments. Among the protocols we include native agar extraction, hot and cold alkaline pretreatment, acid pretreatment, acid pretreatment followed by CaCl_2 addition and CaCl_2 extraction. *G. domingensis* showed higher agar yield than *G. caudata* in all compared protocols. For *G. domingensis*, the best protocol for agar extraction was with CaCl_2 while for *G. caudata* cold alkaline pretreatment with NaOH was most appropriate. These results suggest that there is a difference in the agar composition, showing the need of particular protocols for both species. Without appropriate extraction methodologies, gels of low quality and subestimation of the seaweed as raw material for agar extraction could be obtained. This study is one of the few works that evaluate different conditions of agar extraction for *G. domingensis*, demonstrating that the most utilized methodologies recommended in the literature were not the ones that gave the best results. Considering the high agar yields of *G. domingensis* one can conclude that this species should be considered as an alternative for agar production, especially for its use as food grade agar. The characteristics of *G. domingensis* agar evaluated throughout the experimental period (2002/2004) presented a narrow range of values, indicating that it can be exploited at any season of the year.

1 – INTRODUÇÃO

Aos ficocolóides, polissacarídeos presentes nas paredes celulares de praticamente todas as macroalgas marinhas, são atribuídas algumas funções biológicas importantes e imprescindíveis para a adaptação das algas ao ambiente marinho. Entre estas, manter a umidade quando expostas ao dessecação em marés baixas, manter a concentração celular interna em ocasiões de chuva, fortalecer e dar flexibilidade à parede celular para resistir à ação das ondas e proteger as células de agressões externas (KLOAREG & QUATRANO, 1988). Dentre estes polissacarídeos, existem aqueles que possuem grande importância econômica, como o ágar, a carragenana e o alginato, e que são responsáveis por uma indústria que atualmente movimenta cerca de US\$ 583 milhões/ano (HANISAK, 1998; McHUGH, 2003). Estes ficocolóides são extraídos de algas vermelhas (ágar e carragenana) e de algas pardas (alginato). Sua utilização está amplamente difundida na indústria alimentícia, de cosméticos, de papel, têxtil, farmacêutica e de biotecnologia (JENSEN, 1993; MATULEWICZ, 1996; McHUGH, 2003), atuando como espessantes, estabilizantes e gelificantes por serem substâncias hidrossolúveis caracterizadas por reduzida solubilidade em baixas temperaturas.

O ágar, extraído principalmente de espécies de *Gracilaria* e *Gelidium*, é um ficocolóide que possui muitas aplicações, sendo utilizado principalmente na indústria alimentícia e na área de pesquisa, por suas aplicações biotecnológicas. Na indústria alimentícia, o ágar tem uso generalizado, onde se aproveitam suas propriedades emulsificantes, estabilizantes e gelificantes, assim como sua alta resistência ao calor. Devido ao seu baixo valor energético é empregado na elaboração de alimentos dietéticos. Além disso, possui grande utilidade nas pesquisas biotecnológicas, sendo empregado em géis utilizados na separação de eletrólitos em eletroforese, na separação de moléculas, em técnicas de imunodifusão, em meios de cultivo microbiológico e como suporte para a imobilização de células ou enzimas utilizadas em biotecnologia (MATULEWICZ, 1996).

Os gêneros *Gracilaria* e *Gelidium* representam a maior parte da matéria-prima utilizada na extração de ágar, embora pequenas quantidades de outros gêneros como *Gracilariopsis*, *Gelidiella*, *Pterocladia* e *Pterocladella* sejam coletados em bancos naturais em várias partes do mundo (ACLETO, 1998; ALVEAL, 1998; SOUSA-PINTO, 1998; McHUGH, 2003).

Praticamente toda a matéria-prima utilizada para a extração comercial de ágar de *Gelidium* provém de bancos naturais, principalmente da França (KAAS, 1998), Indonésia (ISTINI *et al.*, 1998), Coreia (SOHN, 1998), México (ROBLEDO, 1998), Chile

(ALVEAL, 1998), Portugal (SOUSA-PINTO, 1998) e Espanha (JUANES & SOSA, 1998).

Gracilaria, que atualmente representa uma das maiores fontes de ágar, já foi considerado um gênero impróprio para a produção deste ficocolóide, pois seu gel era classificado como fraco. Entretanto, este gênero tornou-se economicamente importante a partir dos anos de 1950, com a descoberta de que o tratamento alcalino era capaz de aumentar sua força de gel, o que resultou no crescimento da indústria de ágar, especialmente daquele voltado para o mercado de ágar alimentício (McHUGH, 2003).

O ágar pode ser definido como uma mistura complexa de polissacarídeos e pode-se separá-lo em duas frações: agarose e agaropectina. A agarose é o componente gelificante, enquanto que a agaropectina possui baixa capacidade de gelificar. De forma simplificada, a agarose consiste de polissacarídeos com cadeias de seqüências alternantes de unidades de β -D-galactose ligadas pela posição 3 e de α -L-galactose ou seu 3,6-anidro derivado, ligadas pela posição 4 (MATULEWICZ, 1996).

Atualmente sabe-se que o ágar compreende na realidade uma família de polissacarídeos (agaranas) e diferentes tipos podem estar presentes no ágar de uma mesma espécie. Esta variedade de agaranas é dada pelos diferentes grupos substituintes que ocupam algumas posições deste polissacarídeo e depende da espécie de alga, da influência de fatores ambientais e de aspectos fisiológicos (ASARE, 1980; BIRD, 1988; CHIRAPART & OHNO, 1993), bem como dos procedimentos para sua extração (ARMISEN & GALATAS, 1987; McHUGH, 2003).

A análise química do ágar com relação aos monossacarídeos que o compõe e dos grupos substituintes é utilizada para avaliar indiretamente a qualidade do ágar (MATULEWICZ, 1996). Dentre os componentes do ágar, é citado na literatura que o teor de 3,6-anidrogactose e de sulfato estão relacionados à força que o gel apresentará, sendo esta diretamente proporcional à quantidade de 3,6-anidrogactose e inversamente proporcional ao teor de sulfato (COSSON *et al.*, 1995).

A mudança que o tratamento alcalino possibilita na molécula do ágar está relacionada às unidades α -L-galactose-6-sulfato ligadas pela posição 4, que reagem para dar origem às unidades de 3,6-anidro- α -L-galactose. Tal reação é uma substituição nucleofílica na qual a hidroxila do C-3 reage com o C-6, formando um anel de 3,6-anidro com a liberação do correspondente grupo fosfato, o que faz com que o gel adquira maior dureza, embora este tratamento diminua a quantidade de ágar extraído (MATULEWICZ, 1996).

O pré-tratamento alcalino a quente com NaOH, embora seja o mais comum, não é o único citado na literatura para a extração do ágar a partir do gênero *Gracilaria*. Outros métodos são citados, como por exemplo, a extração do ágar com pré-tratamento alcalino (a quente ou a frio) com outras fontes de álcali ou com cloreto de cálcio e extração com pré-tratamento ácido. Segundo DURAIRATNAM *et al.* (1990), os ágares submetidos a estes métodos também podem apresentar uma melhoria na qualidade.

De forma geral, a quantidade de sulfato em agaranas de *Gracilaria* está abaixo de 10% (ARMISEN, 1995), enquanto que nas carragenanas este percentual é superior a 20%, podendo chegar a 50% (CRAIGIE, 1990). O pré-tratamento alcalino, utilizado tanto em agaranas como em carragenanas, normalmente aumenta a quantidade de 3,6-anidrogactose, ao mesmo tempo que diminui o teor de sulfato, fato que contribui significativamente para o aumento do poder de gelificação destes ficocolóides (MURANO, 1995).

O tratamento alcalino expandiu o mercado para as espécies de *Gracilaria*, que foram coletadas durante muito tempo em grande quantidade em vários países, tais como Argentina, Chile, Indonésia, Namíbia e inclusive no Brasil (OLIVEIRA, 1998), sendo que muitos destes países experimentaram os efeitos da sobre-exploração de seus bancos naturais ocasionada pela grande demanda por *Gracilaria*.

No Chile, a sobre-exploração dos bancos nas décadas de 1970/1980 levou o país a pesquisar meios de se cultivar *G. chilensis* (SANTELICES, 1989). Atualmente, este país é o que mais contribui no mundo para a produção de *Gracilaria* cultivada. No ano de 2002, 56% da sua produção (71.648 toneladas) foram provenientes dos cultivos (ALVEAL, 2006). Mesmo com o desenvolvimento tecnológico, atualmente a maior parte do fornecimento de *Gracilaria* ainda vem de bancos naturais e o investimento em cultivo depende das flutuações de preço no mercado internacional (McHUGH, 2003).

Com relação ao mercado de agarose existe um número pequeno de processadores que podem produzir uma agarose purificada de alta qualidade para um mercado igualmente pequeno, mas em crescimento, principalmente àquele voltado para a utilização da agarose em aplicações biotecnológicas (McHUGH, 2003). Na indústria farmacêutica o ágar tem sido usado há muitos anos como um laxante suave. Em orquidários, os géis de ágar são utilizados como substrato para o crescimento de plântulas (McHUGH, 2003). Mas o maior mercado para o ágar sem dúvida é o alimentício, que consumiu 6.930 toneladas no ano de 2001 (McHUGH, 2003), o que correspondeu a 91% de todo o ágar produzido naquele ano.

É nesse mercado que se insere o ágar proveniente de espécies de *Gracilaria*. Contudo, este disputa o mercado com outros hidrocolóides com utilizações industriais semelhantes, como por exemplo, o CMC (carboximetilcelulose), LGB (*locust bean gum*) e as gomas: arábica, guar, xantana e gelana. O preço e a demanda dependem, por este motivo, da disponibilidade e do preço destas gomas concorrentes (FURTADO, 2005). Em vista disso, a investigação de métodos alternativos de extração de ágar, visando processos menos onerosos, pode contribuir para dar mais competitividade a este ficocolóide.

Segundo BELLORIN (2002), no litoral catarinense ocorrem quatro espécies de *Gracilaria*, *G. caudata*, *G. domingensis*, *G. tepocensis* e *G. cervicornis*. Destas, *G. domingensis* é abundante em alguns locais, como na enseada de Armação do Itapocoroy (Penha), nas praias do Estaleiro (Porto Belo) e da Velhinha (Florianópolis). Em virtude da abundância na enseada de Armação do Itapocoroy e do seu potencial econômico, o cultivo de *G. domingensis* foi analisado ao longo de três anos neste local (Capítulo 2).

O litoral de Santa Catarina carece de estudos sobre as populações de *Gracilaria*, assim como sobre as características do ágar das espécies presentes. O único estudo realizado no litoral catarinense sobre o ágar de *G. domingensis*, na enseada de Armação do Itapocoroy (PAZETO, 2001), avaliou o rendimento do ágar nativo da espécie, indicando que este foi alto.

Até o momento existem poucos estudos realizados no Brasil sobre as características do ágar de *G. domingensis* e de *G. caudata*, especialmente quando se considera a região sul do país. Assim, este trabalho avaliou a quantidade (rendimento percentual) e a qualidade de ágar (teor de 3,6-anidrogactose e de sulfato) em *G. domingensis* e *G. caudata* procedentes de bancos naturais e de cultivo. Os objetivos específicos foram:

- I – Estabelecer um protocolo de extração de ágar para *G. domingensis*, visando a obtenção de maior rendimento;
- II – Avaliar diversos protocolos de extração de ágar para *G. caudata*;
- III – Comparar o ágar de *G. domingensis* e *G. caudata*;
- IV – Com base no protocolo selecionado (item I), verificar possíveis variações ao longo do período experimental nas características do ágar, a partir de espécimes coletados no banco natural e nos cultivos realizados no Local 1 (mais próximo à praia) e Local 2 (mais distante da praia) (Fig. 1).

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

As coletas de biomassa para a extração de ágar foram realizadas na enseada de Armação do Itapocoroy, localizado no município de Penha, Santa Catarina ($26^{\circ}47'S$ – $48^{\circ}37'W$, Fig.1), diretamente nos bancos naturais ou nos cultivos realizados em dois locais (Locais 1 e 2) dentro da enseada: Local 1, mais interno, próximo à praia e dentro da área de cultivo de mexilhões e Local 2, situado na porção externa da enseada, mais distante da praia (Fig. 1).

Figura 19: Localização da enseada de Armação do Itapocoroy no litoral norte de Santa Catarina, indicando os bancos naturais (seta) e os Locais 1 e 2 de cultivo.

2.1 – Avaliação de protocolos para extração de ágar de *G. domingensis*

Para o estabelecimento de um protocolo padrão para a extração de ágar, talos saudáveis de *G. domingensis* foram coletados no banco natural. Estes talos foram triados, lavados em água doce, secos ao sol e depois em estufa a 60°C por 48 h. Após este período, foram triturados e armazenados para posterior extração em laboratório.

Foram selecionados 19 protocolos de extração de ágar descritos na literatura para espécies de *Gracilaria*, os quais foram testados em triplicata (réplicas de 10 g, peso seco). A Figura 2 apresenta esquematicamente os protocolos seguintes:

- 1- Extração do ágar nativo (modificado de REBELLO *et al.*, 1997 e MARINHO-SORIANO *et al.*, 1999);
- 2- Pré-tratamento alcalino a quente com NaOH 1, 3, 5, 7 e 10% e com KOH 1, 3, 5, 7, e 10% (modificado de REBELLO *et al.*, 1997).
- 3- Pré-tratamento alcalino a frio com NaOH 1 e 5% e com KOH 1 e 5% (modificado de GERUNG *et al.*, 1997);
- 4- Pré-tratamento ácido a frio com HCl 1% (modificado de DURAIRATNAM *et al.*, 1990);
- 5- Extração com CaCl₂ 0,5 e 1% (modificado de DURAIRATNAM *et al.*, 1990);
- 6- Pré-tratamento ácido a frio com HCl 1% seguido da adição de CaCl₂ 0,5% (modificado de DURAIRATNAM *et al.*, 1990).

Os parâmetros obtidos em laboratório para comparação entre os protocolos foram: rendimento percentual de ágar (em relação à biomassa algal seca utilizada), quantidade de 3,6-anidrogactose (%) e de sulfato (%) (em relação ao peso seco de ágar).

Depois de selecionado o protocolo, os talos de *G. domingensis* coletados no banco natural ou cultivados ao longo do período experimental foram submetidos a esse protocolo de extração para que as comparações pudessem ser realizadas.

Figura 20: Esquema representativo dos procedimentos para a extração do ágar de *Gracilaria domingensis* e *G. caudata* por meio de diferentes protocolos de extração.

2.2 – Avaliação de protocolos para extração de ágar de *G. caudata*

A avaliação do ágar de *G. caudata* foi realizada a partir de quatro protocolos de extração com talos coletados no banco natural. A metodologia de coleta e preparação do material para a extração do ágar foi a mesma descrita anteriormente para *G. domingensis*. Cada protocolo de extração foi testado em triplicata (réplicas de 10 g, peso seco), seguindo a mesma metodologia do esquema representado na Figura 2.

Os protocolos testados foram:

- 1- Extração com CaCl_2 0,5%;
- 2- Extração com CaCl_2 1%;
- 3- Pré-tratamento alcalino a frio com NaOH 0,1M;
- 4- Pré-tratamento alcalino a frio com KOH 0,1M.

2.3 – Comparação do ágar de *G. domingensis* e *G. caudata* extraído por meio de diferentes protocolos

A comparação de *G. domingensis* e *G. caudata* foi realizada com talos coletados nos bancos naturais em julho/2003, seguindo a mesma metodologia do esquema representado na Figura 2. Cada protocolo de extração foi testado em triplicata (réplicas de 10 g, peso seco). Os protocolos utilizados foram:

- 1- Extração com CaCl_2 0,5%;
- 2- Extração com CaCl_2 1%;
- 3- Pré-tratamento alcalino a frio com NaOH 0,1M;
- 4- Pré-tratamento alcalino a frio com KOH 0,1M.

2.4 – Avaliação do ágar de *G. domingensis* extraído de talos provenientes do banco natural e do cultivo (Locais 1 e 2) ao longo dos períodos experimentais

A avaliação do ágar de *G. domingensis* ao longo do período experimental foi realizada com talos provenientes do banco natural e dos locais de cultivo (Locais 1 e 2) (Fig. 1). As amostras provenientes do banco natural foram coletadas no período entre setembro/2002 e agosto/2004. As amostras provenientes dos cultivos foram coletadas no Local 1 no período entre agosto/2003 e setembro/2004 e no Local 2 no período entre setembro/2003 e agosto/2004.

Apenas o protocolo de extração com CaCl_2 0,5%, selecionado no item 2.1, foi utilizado a fim de se avaliar o rendimento e a qualidade do ágar de *G. domingensis* ao longo do período experimental. As análises foram realizadas em triplicata (réplicas de 10 g, peso seco), com exceção da amostra coletada no banco natural no dia 19/05/04, quando a biomassa coletada foi suficiente para apenas uma réplica.

2.5 – Protocolo para a quantificação de 3,6-anidrogactose (modificado de MATSUHIRO, 1995 e SAITO, 1997)

Aproximadamente 24 ± 1 mg de ágar (peso seco) foram dissolvidos em 40 mL de água Milli-Q em banho-maria a 80-85°C até sua completa dissolução (90 a 120 min). As amostras foram resfriadas em banho de gelo com água e o volume foi completado para 50 mL com água Milli-Q (solução de trabalho). A seguir, foram misturados 10 mL da solução de trabalho e 5 mL de água Milli-Q (dissolução da amostra). Em um tubo Falcon foram pipetados 2 mL de água Milli-Q e adicionados: 0,5 mL de timol 5%, 5 mL de cloreto férrico 0,5% e 2 mL da dissolução da amostra. As amostras foram homogeneizadas, aquecidas em banho-maria por 13 min a 80°C e resfriadas em banho de gelo com água. Às amostras foram adicionados 10 mL de etanol 98%. Após estes procedimentos, as amostras foram analisadas em espectrofotômetro a 635 nm e suas absorbâncias registradas para se calcular a quantidade de 3,6-anidrogactose (%) utilizando-se curva de calibração.

2.6 – Protocolo para quantificação de sulfato (modificado de SAITO, 1997)

Amostras de ágar de aproximadamente 30 ± 1 mg foram umedecidas em 100 µL de etanol 95%, seguidas da adição de 500 µL de HCl 0,5 N. As amostras foram hidrolisadas em água fervente por 2 h. O volume foi completado com água Milli-Q até atingir 10 mL. As amostras foram centrifugadas em 12.000 rpm durante 15 min em temperatura ambiente para remover materiais em suspensão. Foram dissolvidos 2 mL do sobrenadante em 18 mL de água Milli-Q e 2 mL de HCl 0,5 N. Após a adição de HCl, as amostras foram levemente agitadas, seguindo-se a adição de 1 mL de solução de cloreto de bário-gelatina. As amostras foram novamente agitadas, deixando-as à temperatura ambiente por 30 min. Após este período, as absorbâncias das amostras foram obtidas em espectrofotômetro a 550 nm. A partir das absorbâncias, a quantidade de sulfato (%) foi calculada utilizando-se curva de calibração.

2.7 – Análise dos dados

Os dados foram analisados estatisticamente por meio de análise de variância (Programa *Statistica*, versão 5.0) O teste *a posteriori* de Tukey foi aplicado quando observada diferença significativa ($p < 0,05$) (ZAR, 1999).

3 - RESULTADOS

3.1 – Avaliação de protocolos para extração de ágar de *G. domingensis*

Os filtrados obtidos após a extração do ágar nos pré-tratamentos alcalinos a quente com NaOH (1, 3, 5, 7 e 10%), no pré-tratamento ácido e no ácido seguido de adição de CaCl_2 não gelificaram, mesmo após 24 h à temperatura ambiente. Por esta razão, não foi possível avaliar o rendimento e o teor de sulfato e de 3,6-anidrogactose destas amostras. Excetuando-se estas, as amostras dos demais protocolos de extração gelificaram ou ficaram com consistência cremosa após 24 h à temperatura ambiente.

Os rendimentos de ágar variaram entre 3,9 (KOH 1% quente) e 53,1% (CaCl_2 1%) (Fig. 3). Os protocolos que apresentaram rendimentos acima de 20% de ágar foram aqueles submetidos à extração do ágar nativo (35,4%), com CaCl_2 0,5 e 1% (49,5% e 53,1%, respectivamente) e com KOH 1 e 5% a frio (20,8% e 24,7%, respectivamente).

A comparação entre os diferentes protocolos evidenciou diferenças significativas entre eles ($p=0,000$). Não houve diferença significativa entre as amostras submetidas ao pré-tratamento alcalino a quente com KOH 3, 5, 7 e 10%, assim como não houve diferença significativa entre as amostras submetidas ao pré-tratamento alcalino a frio, com NaOH 1 e 5% (Tab.1). A amostra do pré-tratamento alcalino a quente com KOH 1% apresentou rendimento de ágar menor do que os apresentados pelas amostras submetidas ao mesmo protocolo de extração, mas em concentrações mais altas ($p<0,05$).

Figura 21: Rendimento do ágar de *Gracilaria domingensis* extraído por meio de diferentes protocolos.

Tabela 22: Valores estimados de *p* para o Teste de Tukey realizado para os rendimentos percentuais do ágar de *Gracilaria domingensis* extraído por meio de diferentes protocolos. Em negrito as amostras onde houve diferença significativa.

Protocolo de extração	Nativo	CaCl ₂ 0,5%	KOH 1% quente	KOH 3% quente	KOH 5% quente	KOH 7% quente	KOH 10% quente	NaOH 1% frio	NaOH 5% frio	KOH 1% frio	KOH 5% frio
Nativo											
CaCl ₂ 0,5%	0,000										
KOH 1% quente	0,000	0,000									
KOH 3% quente	0,000	0,000	0,002								
KOH 5% quente	0,000	0,000	0,001	1,000							
KOH 7% quente	0,000	0,000	0,007	1,000	1,000						
KOH 10% quente	0,000	0,000	0,018	0,994	0,990	1,000					
NaOH 1% frio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000				
NaOH 5% frio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000			
KOH 1% frio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
KOH 5% frio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	
CaCl ₂ 1%	0,000	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Os teores mais elevados de 3,6-anidrogactose (Fig. 4) foram observados nas amostras submetidas ao protocolo de extração com pré-tratamento alcalino a frio (NaOH e KOH), onde os percentuais variaram entre 9,5 e 11,4%. Já os valores mais baixos (4,0 a 5,0%) foram observados nas amostras submetidas ao pré-tratamento alcalino a quente, nas concentrações de 3, 5, 7 e 10% de KOH (Fig. 4).

A comparação dos teores de 3,6-anidrogactose mostrou diferença entre os protocolos testados ($p = 0,000$). Não houve diferença significativa entre as amostras de

ágar nativo (8,8%) e as extraídas com CaCl_2 0,5 e 1% (8,6% e 7,9%, respectivamente) e as submetidas aos pré-tratamentos alcalinos a frio (9,5 a 11,4%). Também não foi observada diferença significativa entre as amostras do pré-tratamento alcalino a quente com KOH 1 a 10% (4,0 a 6,5%).

A quantidade de sulfato presente no ágar das amostras (Fig. 4) variou entre 4,4 (KOH 3% a quente) e 11,4% (NaOH 5% a frio). Os valores mais elevados foram observados nas amostras submetidas ao protocolo de ágar nativo (10,9%) e nos pré-tratamentos alcalino a frio com as duas fontes de álcali (NaOH e KOH, 10,7 a 11,4%).

A comparação dos teores de sulfato mostrou diferença significativa entre os protocolos testados ($p=0,000$). Não houve diferença entre a amostra do ágar nativo e aquelas extraídas com pré-tratamento alcalino a frio com as duas fontes de álcali, assim como não foi observada diferença significativa entre as amostras obtidas por meio dos demais protocolos de extração (CaCl_2 0,5 e 1% e pré-tratamentos alcalinos a quente), que apresentaram teores menos elevados de sulfato (entre 4,4 e 7,3%). Não foi observada diferença significativa entre as amostras submetidas ao pré-tratamento alcalino a frio.

Dentre os protocolos avaliados, o de extração com CaCl_2 0,5% foi selecionado para realizar as comparações ao longo do período experimental entre as amostras de *G. domingensis* provenientes dos bancos naturais e dos cultivos, por apresentar alto rendimento de ágar, teor intermediário de 3,6-anidrogalaactose e de sulfato e por ter apresentado um gel consistente.

Figura 22: Percentual de 3,6-anidrogalaactose e de sulfato do ágar de *Gracilaria domingensis* extraído por meio de diferentes protocolos.

3.2 – Avaliação de protocolos para extração de ágar de *G. caudata*

Nos protocolos de extração testados para *G. caudata* o rendimento percentual de ágar variou entre 13,0 (CaCl₂ 1%) e 22,9% (NaOH 0,1M) (Fig. 5). Os protocolos de extração de ágar mostraram diferenças significativas entre si ($p = 0,000$). As amostras extraídas com CaCl₂ 0,5% (19,5%) e KOH 0,1M (19,3%) não mostraram diferença significativa entre elas. O protocolo de extração com NaOH 0,1M mostrou rendimento maior que os outros protocolos testados ($p = 0,000$), enquanto CaCl₂ 1% foi menor que CaCl₂ 0,5% e KOH 0,1M ($p = 0,000$ para ambas comparações).

Figura 23: Rendimento de ágar de *Gracilaria caudata* submetida a diferentes protocolos de extração.

Após a análise da quantidade de 3,6-anidrogactose, observou-se que os teores variaram entre 9,4% na amostra extraída com CaCl₂ 0,5% e 15,2% na amostra extraída com CaCl₂ 1% (Fig. 6). A comparação entre os teores de 3,6-anidrogactose das amostras submetidas aos diferentes protocolos mostrou diferença significativa ($p=0,000$). As amostras extraídas com álcali (NaOH e KOH) apresentaram teores intermediários (12,5 e 12,8%, respectivamente) e não houve diferença significativa entre estas amostras. A amostra extraída com CaCl₂ 0,5%, por outro lado, apresentou teor menor que as outras amostras ($p=0,000$ em todas as comparações) e CaCl₂ 1% apresentou teor maior que NaOH 0,1M e KOH 0,1M ($p=0,000$ para ambas comparações).

Os teores de sulfato destas amostras variaram entre 0,3 (CaCl₂ 1%) e 4,2% (CaCl₂ 0,5%) (Fig. 6). O teor de sulfato de CaCl₂ 0,5% (4,2%) foi maior que CaCl₂ 1% (0,3%, $p=0,000$) e NaOH (1,5%, $p=0,000$). Não houve diferença significativa entre a amostra CaCl₂ 1% e as amostras alcalinas (NaOH – 1,5% e KOH – 2,6%), entre KOH e NaOH, assim como entre KOH e CaCl₂ 0,5%.

Assim, o protocolo que apresentou o rendimento de ágar mais elevado para *G. caudata* foi o de extração a frio com NaOH 0,1M. Em relação ao teor de 3,6-anidrogactose, o protocolo que apresentou o valor mais elevado foi o CaCl₂ 1%. Já para o conteúdo de sulfato, a extração com CaCl₂ 1% foi a que apresentou o valor menos elevado.

Figura 24: Percentual de 3,6-anidrogallactose e de sulfato do ágar de *Gracilaria caudata* extraído por meio de diferentes protocolos.

3.3 – Comparação do ágar de *G. domingensis* e *G. caudata* extraído por meio de diferentes protocolos

O rendimento de ágar de *G. domingensis* submetida aos diferentes protocolos de extração variou entre 29,2 (NaOH 0,1M) e 53,1% (CaCl₂ 1%) e entre 13 (CaCl₂ 1%) e 22,9% (NaOH 0,1M) para *G. caudata* (Fig. 7). A comparação entre as duas espécies submetidas aos diferentes protocolos mostrou diferença significativa ($p = 0,000$). O rendimento de *G. domingensis* foi sempre maior que o observado para *G. caudata*, quando comparado o mesmo protocolo ($p = 0,000$ em todas as comparações).

Figura 25: Rendimento do ágar de *Gracilaria domingensis* (GD) e *G. caudata* (GC) extraído por meio de diferentes protocolos.

Os teores de 3,6-anidrogactose de *G. domingensis* variaram entre 7,9 (CaCl₂ 1%) e 12,3% (KOH 0,1M) e de *G. caudata* entre 9,4 (CaCl₂ 0,5%) e 15,2% (CaCl₂ 1%) (Fig. 8). A comparação entre as duas espécies submetidas aos diferentes protocolos mostrou diferença significativa ($p=0,000$).

À exceção da extração com CaCl₂ 1%, em que *G. domingensis* apresentou teor de 3,6-anidrogactose menor (7,9%) que *G. caudata* (15,2%) ($p=0,000$), não houve diferença significativa entre as quantidades de 3,6-anidrogactose apresentadas pelas espécies quando comparado o mesmo protocolo.

Os percentuais de sulfato do ágar de *G. domingensis* variaram entre 4,9 (CaCl₂ 1%) e 11,7% (NaOH 0,1M) e de *G. caudata* entre 0,3 (CaCl₂ 1%) e 4,2% (CaCl₂ 0,5%) (Fig. 8). Os teores de sulfato de *G. domingensis* foram sempre mais altos que os observados para *G. caudata*, quando comparados no mesmo protocolo ($p=0,000$ em todas as comparações).

Assim, o protocolo que apresentou o rendimento mais elevado de ágar para *G. domingensis* foi o de extração com CaCl₂ 1% e para *G. caudata* foi o de pré-tratamento alcalino a frio com NaOH 0,1M (Fig. 8). Em relação ao teor de 3,6-anidrogactose, o protocolo que apresentou o valor mais elevado para *G. domingensis* foi o de pré-tratamento alcalino frio com KOH e para *G. caudata* foi o de extração com CaCl₂ 1% (Fig. 8). Já com relação ao teor de sulfato, para ambas espécies o protocolo com valor menos elevado foi o de extração com CaCl₂ 1% (Fig. 8).

Figura 26: Percentual de 3,6-anidrogactose e de sulfato no ágar de *Gracilaria domingensis* (GD) e *G. caudata* (GC) extraído por meio de diferentes protocolos.

3.4 – Avaliação do ágar de *G. domingensis* extraído de mudas provenientes do banco natural coletadas ao longo do período experimental

O rendimento percentual de ágar das amostras coletadas no banco natural de *G. domingensis* variou muito ao longo do período de coleta (2002, 2003 e 2004) (Fig. 9). O valor mais baixo de rendimento foi obtido em 23/03/04 (29,0%) e o mais elevado foi obtido em 04/08/04 (50,8%), sendo observada uma tendência de aumento nos rendimentos de ágar entre o inverno e a primavera do período experimental, com a maioria das amostras mostrando rendimentos superiores a 35,0% (Fig. 9).

A comparação dos rendimentos ao longo do período de coleta apresentou diferença significativa ($p= 0,000$). Por conta dessa variabilidade nos valores, os teores de ágar apresentaram diferenças significativas entre os meses estudados (Tab. 2), mas não foi possível observar um padrão sazonal para os teores de ágar e desta forma, a tendência observada não foi confirmada estatisticamente.

Figura 9: Rendimento de ágar de *Gracilaria domingensis* (extração com CaCl_2 0,5%) coletada no banco natural (anos 2002, 2003 e 2004).

Tabela 23: Valores estimados de p para o Teste de Tukey realizado para os rendimentos percentuais de ágar de *Gracilaria domingensis* (extração com CaCl_2 0,5%) coletada no banco natural entre os anos 2002 e 2004. Em negrito, as amostras onde houve diferença significativa.

Coleta	17/09/02	14/11/02	10/02/03	23/03/03	01/06/03	20/07/03	01/08/03	25/09/03	10/02/04	23/03/04	19/05/04	07/07/04	04/08/04
17/09/02													
14/11/02	0,000												
10/02/03	0,081	0,398											
23/03/03	0,000	1,000	0,079										
01/06/03	0,707	0,027	0,976	0,003									
20/07/03	0,001	1,000	0,688	0,978	0,076								
01/08/03	0,953	0,007	0,784	0,001	1,000	0,021							
25/09/03	0,279	0,130	1,000	0,018	1,000	0,300	0,986						
10/02/04	0,000	0,637	0,004	0,986	0,000	0,354	0,000	0,001					
23/03/04	0,000	0,097	0,000	0,458	0,000	0,035	0,000	0,000	0,994				
19/05/04	0,006	1,000	0,670	1,000	0,162	1,000	0,072	0,385	0,991	0,714			
07/07/04	0,924	0,009	0,839	0,001	1,000	0,027	1,000	0,993	0,000	0,000	0,085		
04/08/04	1,000	0,000	0,022	0,000	0,345	0,000	0,690	0,091	0,000	0,000	0,002	0,622	
31/08/04	0,979	0,005	0,692	0,001	1,000	0,015	1,000	0,965	0,000	0,000	0,057	1,000	0,782

A quantidade de 3,6-anidrogactose nas amostras foi muito variável ao longo do período analisado, sendo o valor mais elevado observado em 10/02/03 (10,1%) e o menos elevado em 10/02/04 (5,2%) (Fig. 10). Valores menos elevados foram detectados no período entre 23/03/2003 e 23/03/04 (entre 5,2 e 5,6%) (Fig. 10). Apesar disso, não foi possível observar um padrão na variação ao longo dos anos do teor de 3,6-anidrogactose para as mudas provenientes do banco natural. A comparação dos teores de 3,6-anidrogactose ao longo do período de coleta mostrou diferença significativa entre as amostras ($p=0,000$). A análise de variância reflete esta grande variabilidade nos percentuais obtidos (Tab. 3), evidenciando as muitas diferenças significativas entre as amostras analisadas.

Os percentuais de sulfato apresentaram teores entre 6,9 (19/05/04) e 11,1% (04/08/04) (Fig. 10). A comparação entre os teores de sulfato ao longo do período de coleta mostrou diferença significativa ($p=0,000$).

O teor de sulfato da amostra de 04/08/04 (11,2%) foi significativamente maior que a amostra de 17/09/02 (7,3%, $p=0,002$), de 10/02/03 (8,2%, $p=0,030$), de 23/03/03 (7,9%, $p=0,013$), de 23/03/04 (7,43%, $p=0,003$), de 31/08/04 (7,5%, $p=0,004$) e de 19/05/04 (6,9%, $p=0,029$).

Figura 10: Percentual de 3,6-anidrogalaactose e de sulfato no ágar de *Gracilaria domingensis* extraído com CaCl_2 0,5%, coletada no banco natural (anos: 2002, 2003 e 2004).

Tabela 24: Valores estimados de *p* para o Teste de Tukey realizado para os valores percentuais de 3,6-anidrogalaactose em *Gracilaria domingensis* (extração com CaCl_2 0,5%) coletada no banco natural (anos: 2002, 2003 e 2004). Em negrito, as amostras onde houve diferença significativa.

Coleta	17/09/02	14/11/02	10/02/03	23/03/03	01/06/03	20/07/03	01/08/03	25/09/03	10/02/04	23/03/04	19/05/04	07/07/04	04/08/04
14/11/02	1,000												
10/02/03	0,625	0,984											
23/03/03	0,003	0,000	0,000										
01/06/03	0,005	0,001	0,000	1,000									
20/07/03	0,910	1,000	1,000	0,000	0,000								
01/08/03	0,002	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000							
25/09/03	0,001	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	1,000						
10/02/04	0,004	0,001	0,000	1,000	1,000	0,000	1,000	1,000					
23/03/04	0,003	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	1,000	1,000	1,000				
19/05/04	1,000	1,000	0,937	0,075	0,115	0,993	0,072	0,047	0,066	0,088			
07/07/04	0,998	0,803	0,133	0,027	0,053	0,346	0,026	0,014	0,032	0,035	1,000		
04/08/04	0,785	0,266	0,018	0,189	0,315	0,061	0,179	0,105	0,179	0,232	0,978	0,999	
31/08/04	1,000	1,000	0,803	0,001	0,003	0,978	0,001	0,001	0,002	0,002	1,000	0,984	0,604

3.5 – Avaliação do ágar de *G. domingensis* extraído de mudas provenientes do cultivo no Local 1 ao longo do período experimental

Os teores de ágar de *G. domingensis* variaram entre 32,0 (27/05/04) e 45,2% (08/09/04) ao longo dos anos analisados (Fig. 11) e não apresentaram um padrão no período monitorado. Na maioria das amostras, o rendimento foi menor que 40,0% e somente em quatro (15/08/03, 26/02/04, 03/03/04 e 08/09/04) dos dezesseis experimentos de cultivo realizados, este rendimento foi ultrapassado (Fig. 11).

A comparação dos rendimentos de *G. domingensis* neste local ao longo do período de coleta mostrou que houve diferença entre os meses analisados ($p= 0,000$). A amostra 08/09/04 (45,2%) foi maior que as amostras 07/04/04 (33,9%, $p= 0,000$), 27/05/04 (32%, $p= 0,000$) e 12/09/04 (33,3%, $p= 0,000$). Houve diferença também entre as amostras 03/03/04 (43,6%) e 27/05/04 (32,0%, $p= 0,000$).

A quantidade de 3,6-anidrogactose variou entre 5,5 (12/09/04) e 7,2% (12/08/04) (Fig. 12). Não houve diferenças significativas no teor deste açúcar entre os diferentes períodos de coleta. Assim como para o rendimento de ágar, não foi possível observar um padrão sazonal na variação de 3,6-anidrogactose neste local.

Os teores de sulfato ao longo dos anos 2003 e 2004 variaram entre 6,4 (setembro/2004) e 11,8% (agosto/2003) (Fig. 12). A comparação entre os teores de sulfato ao longo do período de coleta mostrou que não houve diferenças entre as amostras, nem padrão em seus teores ao longo do período monitorado.

Figura 11: Rendimento percentual do ágar de *Gracilaria domingensis* extraído com CaCl_2 0,5%, cultivada no Local 1 (anos: 2003 e 2004).

Figura 12: Percentual de 3,6-anidrogalaactose e de sulfato no ágar de *Gracilaria domingensis* extraído com CaCl_2 0,5%, cultivada no Local 1 (anos: 2003 e 2004).

3.6 – Avaliação do ágar de *G. domingensis* extraído de mudas provenientes do cultivo no Local 2 ao longo do período experimental

Os valores percentuais de rendimento de ágar para *G. domingensis* cultivada no Local 2 variaram entre 25,3 (25/09/03) e 48,8% (22/08/04) (Fig. 13). A comparação dos rendimentos de *G. domingensis* neste local ao longo do período de coleta mostrou que houve diferença entre os meses analisados ($p=0,000$), embora não seja possível identificar um padrão ao longo do período monitorado. Diferente do que foi observado no Local 1, a maioria dos experimentos no Local 2 mostrou rendimentos superiores a 40,0% (Fig. 13).

Excetuando-se o experimento de 25/09/03 (o único que apresentou rendimento de ágar abaixo de 30%), algumas diferenças significativas foram observadas: 27/05/04 (34,9%) apresentou rendimento menor que os de 26/02/04 (48,5%), 02/06/04 (45,5%) e 22/08/04 (48,8%, $p=0,000$ para todas as comparações); o experimento de 02/04/04 (38,4%) apresentou valores menores que aqueles de 22/08/04 (48,8%, $p=0,000$).

Figura 13: Rendimento de ágar em *Gracilaria domingensis* extraído com CaCl_2 0,5%, cultivada no Local 2 (anos: 2003 e 2004).

Os teores de 3,6-anidrogactose variaram entre 5,2 (25/09/03) e 8,1% (26/02/04) (Fig. 14). A comparação nos teores de 3,6-anidrogactose ao longo do período de coleta mostrou que houve diferença significativa entre as amostras ($p = 0,044$), entretanto, o teste de Tukey mostrou que não houve diferença entre as amostras ao longo do período experimental.

Os percentuais de sulfato variaram entre 6,5 (02/06/04) e 11,0% (02/04/04) (Fig. 14). A comparação entre os teores de sulfato ao longo do período de coleta mostrou que não houve diferença entre as amostras.

Figura 14: Percentual de 3,6-anidrogalaactose e de sulfato do ágar de *Gracilaria domingensis* extraído com CaCl_2 0,5%, cultivada no Local 2 (anos: 2003 e 2004).

4 – DISCUSSÃO

4.1 – Avaliação dos protocolos para extração do ágar de *G. domingensis*

A comparação dos diferentes protocolos de extração mostrou que os rendimentos mais baixos de ágar (até mesmo nulos) foram obtidos nos pré-tratamentos alcalinos a quente ou ácidos. Tais resultados sugeriram que estes protocolos não foram indicados para extrair o ágar de *G. domingensis*, incluindo aquele de pré-tratamento alcalino a quente com NaOH, amplamente citado na literatura para extrair o ágar de espécies de *Gracilaria* (ASSAD-LUDEWIGS, 1984; DURAIRATNAM, 1987; APONTE-DIAZ & CASTRO, 1989; LEVY *et al.*, 1990; HURTADO-PONCE, 1992; OROSCO *et al.*, 1992; ISTINI *et al.*, 1994; REBELLO *et al.*, 1997). Além deste, o protocolo de pré-tratamento alcalino a quente com KOH, utilizado para extrair carragenana, mostrou os rendimentos de ágar mais baixos dentre aqueles obtidos, sugerindo ser também pouco adequado para *G. domingensis*.

O fato dos filtrados obtidos após a extração no pré-tratamento alcalino a quente com NaOH não terem gelificado indicaram que a temperatura utilizada foi elevada demais para a extração do ágar de *G. domingensis* ou que o tempo de extração (2h) foi longo demais. Segundo MURANO (1995), temperaturas muito elevadas e/ou extrações demoradas (mais de 2h), particularmente no caso de pré-tratamentos alcalinos acarretam degradação da molécula do polissacarídeo. No entanto, HURTADO-PONCE (1992), ao testar a extração alcalina do ágar de espécies de *Gracilaria* em 3 tempos de extração diferentes, concluiu que existia dependência entre tempo de extração e a espécie.

O mesmo resultado foi observado para os pré-tratamentos ácidos, onde os filtrados não gelificaram. A degradação pode ter ocorrido parcialmente no pré-tratamento alcalino a quente com KOH em todas as concentrações testadas, já que os rendimentos obtidos foram os mais baixos dentre os protocolos testados. A temperatura de 80°C utilizada no pré-tratamento alcalino não foi adequada para extrair o ágar de *G. domingensis*, sendo necessário testar este protocolo em temperaturas mais baixas para verificar se em condições diferentes de extração alcalina com NaOH, o rendimento seria maior.

Para VILLANUEVA *et al.* (1997), as condições de extração devem ser testadas levando-se em consideração que as condições ótimas (temperatura, concentração do

álcali e tempo de extração) são exclusivas para cada espécie. Segundo estes autores, tais testes poderiam levar a resultados diferentes daqueles na literatura, especialmente no caso de espécies caracterizadas por produzirem géis de baixa qualidade.

Este pode ser o caso para *G. domingensis*, que atualmente é explotada no litoral do nordeste brasileiro para sua utilização como alimento humano (OLIVEIRA, 2006), sendo seu ágar considerado de baixa qualidade. O presente estudo é um dos poucos trabalhos que avaliou diferentes condições para a extração de ágar de *G. domingensis*, demonstrando que os protocolos mais utilizados na literatura não foram os que mostraram melhores rendimentos para esta espécie. Assim, de acordo com VILLANUEVA *et al.* (1997), a otimização dos protocolos com melhores resultados avaliados no presente estudo, podem levar a produção de ágar alimentício a partir de *G. domingensis*.

O pré-tratamento alcalino a frio (CHIRAPART & OHNO, 1993; GERUNG *et al.*, 1997) e o protocolo de extração com CaCl_2 (DURAIRATNAM *et al.*, 1990), por outro lado, embora tenham sido pouco testados para outras espécies de *Gracilaria*, mostraram rendimentos muito superiores aos pré-tratamentos alcalinos a quente para *G. domingensis*. Nestes casos, além do bom rendimento de ágar (15,4 a 24,7% para os pré-tratamentos alcalinos a frio e 49,5 a 53,1% na extração com CaCl_2), estes protocolos também geraram bons teores de 3,6-anidrogactose (9,5 a 11,4% para os pré-tratamentos alcalinos a frio e 7,9 a 8,6% na extração com CaCl_2).

Estas observações levam-nos a sugerir que o ágar extraído de *G. domingensis* possui características distintas de outras espécies e por este motivo, para extraí-lo e obter rendimento e qualidade mais elevados, métodos diferentes daqueles normalmente utilizados para as espécies cilíndricas de *Gracilaria* devem ser testados, o que poderia ratificar o proposto por VILLANUEVA *et al.* (1997).

Nos pré-tratamentos alcalinos a quente, a temperatura escolhida para este trabalho foi de 80°C, uma vez que, segundo CHIRAPART & OHNO (1993) e ISTINI *et al.* (1994), esta confere maior rendimento e assegura a manutenção das propriedades físicas do ágar extraído de *Gracilaria*, embora a literatura cite diferentes temperaturas para realizar a extração (DURAIRATNAM & SANTOS, 1981; OROSCO *et al.*, 1992; CHIRAPART & OHNO, 1993).

CHIRAPART & OHNO (1993) discutiram a influência da temperatura sobre o rendimento de ágar, a força do gel e sua viscosidade e concluíram que embora a temperatura mais baixa (70°C) tenha possibilitado o maior rendimento, a temperatura intermediária (80°C) foi a que mostrou melhor qualidade de gel, pois possibilitou um

aumento na força do gel e assim, os autores recomendaram esta temperatura para extrair o ágar de *Gracilaria* sp.

Os rendimentos de ágar obtidos neste trabalho por meio dos diversos protocolos de extração mostraram valores similares ou superiores àqueles encontrados na literatura para diferentes espécies de *Gracilaria* (Tab. 4), embora seja necessário levar em consideração as diferentes metodologias de extração utilizadas por seus autores. O rendimento do ágar nativo de *G. domingensis* obtido foi similar aos valores observados para a mesma espécie no Rio Grande do Norte e na Venezuela. Contudo, outras espécies apresentaram rendimentos mais baixos que *G. domingensis* (Tab. 4).

Portanto, considerando os altos rendimentos de ágar de *G. domingensis* extraídos através de diferentes protocolos no presente estudo, é possível afirmar a potencialidade desta espécie como um recurso explorável para a produção de ágar, especialmente para seu uso como ágar alimentício.

Tabela 25: Rendimentos de ágar nativo e extraído por meio do pré-tratamento alcalino a quente para espécies de *Gracilaria*.

<i>Espécie</i>	Rend. (%) Nativo	Rend. (%) Alcalino	Local	Referência
<i>G. domingensis</i>	35,4	3,91-8,28	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. domingensis</i>		15,44-24,69 ^a	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. domingensis</i>		49,54-53,08 ^b	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. caudata</i>		19,27a 22,88 ^a	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. caudata</i>		12,97-19,50 ^b	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. domingensis</i>	28 a 36	37 – 46 ^b	RN, Brasil	Durairatnam <i>et al.</i> (1990)
<i>G. domingensis</i>	29 a 31	15 a 27	Venezuela	Aponte-Diaz & Castro (1989)
<i>G. aff. verrucosa</i>	28 a 33	15 a 19	SP, Brasil	Assad-Ludewigs (1984)
<i>G. edulis</i>	28,2 a 44,2	17,1 a 29,1	RN, Brasil	Durairatnam (1987)
<i>G. cerviconis</i>	11 a 20		RN, Brasil	Marinho-Soriano <i>et al.</i> (2001)
<i>G. gracilis</i>	14		Brasil	Rebello <i>et al.</i> (1997)
<i>G. firma</i>	23,5		Filipinas	Araño <i>et al.</i> (2000)
<i>G. edulis</i>	10,6 a 24,2	14,1 a 21,3	Malásia	Orosco <i>et al.</i> (1992)
<i>G. tikvahiae</i>	21 a 22	7,6 a 11,9	EUA	Bird & Hinson (1992)
<i>G. blodgettii</i>	24 a 26	8,4 a 10,2	EUA	Bird & Hinson (1992)

^a Pré-tratamento alcalino a frio; ^b Extração com CaCl₂

No pré-tratamento alcalino a quente com KOH, os valores encontrados de rendimento de ágar para *G. domingensis* (entre 3,9 e 8,3%), foram baixos quando comparados àqueles da literatura. A grande maioria dos estudos utilizou NaOH em diversas concentrações e temperaturas (geralmente acima de 70°C) e o rendimento de ágar das diversas espécies de *Gracilaria* ficou entre 15 e 40% (HOYLE, 1978a, b; ASSAD-LUDEWIGS, 1984; DURAIRATNAM, 1987; APONTE-DIAZ & CASTRO, 1989; LEVY *et al.*, 1990; HURTADO-PONCE, 1992; OROSCO *et al.*, 1992; REBELLO *et al.*, 1997).

Ainda é pouco claro como as diferentes formas de álcali (NaOH e KOH) utilizadas nos pré-tratamentos poderiam afetar o rendimento de ágar. No entanto, para *G. domingensis*, a extração a quente aparentemente foi mais prejudicial do que é reportado para outras espécies de *Gracilaria* citadas na literatura, onde o rendimento de ágar variou de 15 a 40% (Tab. 4). Tal afirmação pode ser corroborada pelos resultados do pré-tratamento alcalino a frio, onde os rendimentos de ágar e teores de 3,6-anidrogactose mostraram-se mais altos do que os observados no pré-tratamento alcalino a quente, indicando que em temperaturas mais baixas (menores que 80°C) a qualidade do gel pode ser melhorada. Poucos trabalhos foram realizados com pré-tratamento alcalino a frio ou temperatura de pré-tratamento mais baixa (GERUNG *et al.*, 1997; CHIRAPART & OHNO, 1993) e o rendimento obtido por estes autores variou com a espécie estudada.

Existem outros protocolos de extração citados na literatura que utilizaram soluções alcalinas diferentes, que não as obtidas por meio de hidróxido (DURAIRATNAM *et al.*, 1990; PRICE & BIELIG, 1992) como foi o caso do protocolo de extração com CaCl_2 (nossos dados). No presente estudo, o rendimento médio de ágar extraído com CaCl_2 para *G. domingensis* foi de 49,5% na concentração de 0,5% e de 53,1% na concentração de 1%. Estes valores foram superiores aos observados por DURAIRATNAM *et al.* (1990) para a mesma espécie e mesma metodologia no Rio Grande do Norte (37% e 46%), o que sugere diferenças intraespecíficas, uma vez que a espécie estaria sujeita a diferentes pressões ambientais nestes dois locais.

Apesar de ser conhecido que tanto o rendimento como as propriedades físicas e químicas do ágar podem mudar de acordo com fatores ambientais e fisiológicos para uma mesma espécie, os teores de 3,6-anidrogactose de *G. domingensis* observados por DUCKWORTH *et al.* (1971) (37,8%) foram muito altos, próximos ou mesmo superiores aos observados para espécies que são conhecidas por produzirem um gel de alta qualidade como *G. verrucosa* e *G. pseudoverrucosa*, acima de 30% (Tab. 5).

Embora o rendimento de ágar de *G. domingensis* tenha sido bastante similar ou mesmo superior ao observado para outras espécies (Tab. 4), o mesmo não pode ser dito dos teores de 3,6-anidrogactose obtidos no presente trabalho (3,96 a 11,39%), os quais foram inferiores àqueles observados para outras espécies (Tab. 5). O teor de 3,6-anidrogactose aceito pela indústria está acima de 15% e os valores observados indicaram que *G. domingensis* possui de fato um gel considerado que pode ser considerado fraco pela indústria, já que o teor de 3,6-anidrogactose tem relação direta com a força do gel (MURANO, 1995; MATULEWICZ, 1996).

Dos protocolos testados no presente trabalho, os percentuais mais elevados de 3,6-anidrogactose foram observados nos pré-tratamentos alcalinos a frio e na extração com CaCl_2 , mas sem diferença significativa em relação ao teor obtido do ágar nativo. Este fato também foi observado por DUCKWORTH *et al.* (1971), que analisaram o teor de 3,6-anidrogactose e de sulfato no ágar nativo e no tratado com solução alcalina em *G. domingensis* do Caribe, não observaram diferenças nestes teores, embora o teor de 3,6-anidrogactose fosse muito mais elevado do que o observado no presente estudo. Segundo estes autores, isso ocorreu provavelmente porque sulfato não estaria presente no C-6 da molécula de L-gactose e por isto os teores não teriam se alterado. Para que o tratamento alcalino seja efetivo, é necessário que o sulfato esteja presente no C-6 da molécula de L-gactose, pois é este que irá reagir com o carbono 3.

No caso do estudo de DUCKWORTH *et al.* (1971), como o teor de sulfato não se alterou após o tratamento alcalino, os autores concluíram desta forma, que o sulfato

não estaria presente no C-6 da molécula. Apesar de não termos constatado diferença significativa nos teores de 3,6-anidrogactose entre as amostras do ágar nativo e das amostras extraídas por meio do pré-tratamento alcalino a frio, observamos que houve um aumento no teor de 3,6-anidrogactose de cerca de 20% em relação às amostras de ágar nativo. Por este motivo, é necessário que o pré-tratamento alcalino em temperaturas mais baixas que 70°C seja testado.

Tabela 26: Percentuais de 3,6-anidrogactose (3,6-AG) em ágar nativo e extraído por meio de pré-tratamento alcalino a quente em espécies de *Gracilaria*.

Espécie	3,6-AG (%) Nativo	3,6-AG (%) Alcalino	Local	Referência
<i>G. domingensis</i>	8,84	3,96-6,52	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. domingensis</i>		9,46-11,39 ^a	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. domingensis</i>		7,93-8,64 ^b	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. caudata</i>		12,47-12,78 ^a	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. caudata</i>		9,44-15,18 ^b	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. domingensis</i>	37,8	37,8	Caribe	Duckworth <i>et al.</i> (1971)
<i>G. pseudoverrucosa</i>	28,2 a 34,4	36,6 a 37,8	Canadá	Whyte & Englar (1980)
<i>G. verrucosa</i>	31,5	38,3	Canadá	Whyte & Englar (1980)
<i>G. chorda</i>	28,3	41,3	Canadá	Whyte & Englar (1980)
<i>G. tikvahiae</i>	20,2 a 27,8		EUA	Bird <i>et al.</i> (1981)
<i>G. tikvahiae</i>	20,3 a 27,3	27,4 a 31,4	EUA	Bird & Hinson (1992)
<i>G. blodgettii</i>	24,7	32,4	EUA	Bird & Hinson (1992)
<i>G. arcuata</i>		15,3	Filipinas	Calumpong <i>et al.</i> (1999)
<i>G. salicornia</i>		13,9	Filipinas	Calumpong <i>et al.</i> (1999)
<i>G. blodgettii</i>		15,1	Filipinas	Calumpong <i>et al.</i> (1999)
<i>G. firma</i>		28	Filipinas	Araño <i>et al.</i> (2000)
<i>Gracilaria</i> sp.		25	Filipinas	Araño <i>et al.</i> (2000)
<i>G. chorda</i>	29	33,5	Japão	Orosco <i>et al.</i> (1991)
<i>Gracilaria</i> sp.	29,6 a 36,2		Israel	Friedlander & Zelikovitch (1984)

^a Pré-tratamento alcalino a frio; ^b Extração com CaCl₂.

Os teores de sulfato encontrados nas amostras de *G. domingensis* submetidas aos diferentes protocolos de extração foram altos (4,44 a 11,37%), quando comparados àqueles encontrados na literatura (Tab. 6). Embora tenham sido elevados, estes teores apresentam-se dentro daqueles descritos para o ágar para o gênero *Gracilaria* (< 10%, ARMISEN, 1995). Os altos teores de sulfato dificultam a formação das hélices que se formam conforme ocorre a gelificação, deixando estas hélices instáveis, diminuindo a força do gel. Por este motivo, os tratamentos alcalinos são empregados para diminuir a quantidade de sulfato nas moléculas, fazendo com que o gel adquira maior dureza. O tratamento alcalino possibilita a substituição nucleofílica na qual a hidroxila do C-3 reage com o C-6 da unidade α -L-galactose-6-sulfato do ágar, formando a unidade de 3,6-anidro- α -L-galactose, fazendo com que o

gel adquira maior dureza ao diminuir os grupos sulfato em C-6. Os resultados indicaram que o pré-tratamento alcalino a quente foi capaz de diminuir o teor de sulfato, fazendo com que aquela substituição ocorresse. O pré-tratamento alcalino a frio, por outro lado, não alterou a quantidade de sulfato na molécula, mostrando ser ineficiente. Por outro lado, a extração com CaCl_2 apresentou, da mesma forma como ocorreu no pré-tratamento alcalino a quente, uma diminuição no teor de sulfato, mostrando ser um método eficiente para catalisar tal reação.

Tabela 27: Percentuais de sulfato em ágar nativo e extraído por meio de pré-tratamento alcalino a quente em espécies de *Gracilaria*.

Espécie	Sulfato (%) Nativo	Sulfato (%) Alcalino	Local	Referência
<i>G. domingensis</i>	10,92	4,44 a 7,18	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. domingensis</i>		10,74-11,37 ^a	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. domingensis</i>		4,94-7,30 ^b	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. caudata</i>		1,48-2,55 ^a	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. caudata</i>		0,34-4,24 ^b	SC, Brasil	Presente trabalho
<i>G. domingensis</i>	6,0	4,7	Caribe	Duckworth <i>et al.</i> (1971)
<i>G. pseudoverrucosa</i>	3,54 a 6,13	3,05 a 3,85	Canadá	Whyte & Englar (1980)
<i>G. verrucosa</i>	3,99	2,62	Canadá	Whyte & Englar (1980)
<i>G. chorda</i>	4,48	2,24	Canadá	Whyte & Englar (1980)
<i>G. tikvahiae</i>	0,9 a 3,7		EUA	Bird <i>et al.</i> (1981)
<i>G. tikvahiae</i>	2,5 a 3,5	2,4 a 3,7	EUA	Bird & Hinson (1992)
<i>G. blodgettii</i>	2,3	2,1	EUA	Bird & Hinson (1992)
<i>Gracilaria</i> sp.		0,8	Filipinas	Araño <i>et al.</i> (2000)
<i>G. firma</i>		3	Filipinas	Araño <i>et al.</i> (2000)
<i>G. arcuata</i>		5,2	Filipinas	Calumpong <i>et al.</i> (1999)
<i>G. salicornia</i>		4,2	Filipinas	Calumpong <i>et al.</i> (1999)
<i>G. blodgettii</i>		5,3	Filipinas	Calumpong <i>et al.</i> (1999)
<i>G. chorda</i>	3,9	0,8	Japão	Orosco <i>et al.</i> (1991)
<i>Gracilaria</i> sp.	0,8 a 2,0		Israel	Friedlander & Zelikovitch (1984)

^a Pré-tratamento alcalino a frio; ^b Extração com CaCl_2 .

Embora outras análises sejam necessárias para uma avaliação mais precisa da qualidade e das características físicas do ágar de *G. domingensis*, nossos resultados indicaram que o protocolo de extração com CaCl_2 produz um gel com melhores características. Avaliações químicas devem ser consideradas, investigando as substituições que podem ter ocorrido na molécula do dissacarídeo durante este processo, o que pode resultar em características que melhorem a qualidade do gel de *G. domingensis*, conforme o sugerido por VILLANUEVA *et al.* (1997). Além disso, segundo HURTADO-PONCE (1992), refinamentos da metodologia de pré-extração poderiam melhorar a textura de géis fracos e desta forma, diversificar suas aplicações industriais.

Assim, de acordo com os resultados obtidos para o rendimento de ágar, teor de 3,6-anidrogactose e de sulfato, o protocolo que mostrou melhores valores (alto rendimento, alto teor de 3,6-anidrogactose e baixo teor de sulfato) foi o de extração com CaCl_2 em ambas concentrações.

4.2 – Avaliação de protocolos para extração de ágar de *G. caudata*

A comparação dos quatro diferentes protocolos de extração testados para *G. caudata* apresentou rendimentos de ágar bastante variáveis (entre 13,0 a 22,9%), sendo o maior aquele observado no pré-tratamento alcalino a frio com NaOH. Tais resultados corroboraram dados da literatura, onde os autores indicaram altos rendimentos de ágar (entre 15 e 25%) nos pré-tratamentos alcalinos para o mesmo gênero (ASSAD-LUDEWIGS, 1984; DURAIRATNAM, 1987; APONTE-DIAZ & CASTRO, 1989; LEVY *et al.*, 1990; HURTADO-PONCE, 1992; OROSCO *et al.*, 1992; ISTINI *et al.*, 1994; REBELLO *et al.*, 1997).

Embora os rendimentos de ágar de *G. caudata* tenham apresentado valores razoáveis, quando comparados com espécies de alto valor comercial, como *G. verrucosa* (Tab. 4), existe a possibilidade de se incrementar estes valores, com a extração de ágar por outras metodologias, como o pré-tratamento alcalino a quente, que é o normalmente utilizado para espécies de *Gracilaria* de talo cilíndrico, como é o caso de *G. caudata*.

ASSAD-LUDEWIGS (1984) realizou a extração do ágar nativo de *G. aff. verrucosa* (= *G. caudata*, E. C. OLIVEIRA, com. pess.) coletada no litoral norte de São Paulo, a qual mostrou rendimentos de ágar entre 28 a 33% ao passo que o pré-tratamento alcalino a quente produziu percentuais entre 15 a 19%. Embora não tenhamos realizado extração do ágar nativo e o pré-tratamento alcalino utilizado tenha sido a frio, os rendimentos de ágar com pré-tratamento alcalino foram bastante similares aos observados no litoral paulista por ASSAD-LUDEWIGS (1984).

Ao analisar os parâmetros disponíveis (rendimento de ágar, teor de 3,6-anidrogactose e de sulfato), os protocolos de pré-tratamento alcalino foram os mais indicados para *G. caudata* de Santa Catarina. Testes adicionais com outros protocolos de extração, como o de pré-tratamento alcalino a quente, podem mostrar dados diferentes, uma vez que seu talo é cilíndrico, característica de espécies mais interessantes economicamente (OLIVEIRA *et al.*, 2000) e cujo ágar é tradicionalmente extraído por meio desta metodologia.

Apesar de ser coletada em grandes quantidades no nordeste brasileiro para extração de ágar alimentício (OLIVEIRA, 1998) para o mercado nacional (OLIVEIRA & MIRANDA, 1998), há poucas informações acerca da qualidade do ágar de *G. caudata*

do litoral brasileiro, sendo o presente estudo um dos poucos a comparar diferentes protocolos de extração e a analisar os teores de 3,6-anidrogactose e de sulfato, indicadores da qualidade do ágar.

Os teores de 3,6-anidrogactose dos ágaros de *G. caudata* obtidos por meio dos diferentes protocolos mostraram-se baixos (entre 9,44 e 15,18%), quando comparados a outras espécies de *Gracilaria*, embora tenham alcançado percentuais semelhantes à espécies comerciais das Filipinas (CALUMPONG *et al.*, 1999) (Tab. 5). Da mesma forma, os teores de sulfato obtidos apresentaram valores semelhantes àqueles observados para outras espécies de *Gracilaria* com potencial econômico (Tab. 6).

Os resultados apresentados para *G. caudata* mostraram que esta espécie possui um ágar economicamente viável, visto que seu rendimento e teores de 3,6-anidrogactose e sulfato foram semelhantes àqueles observados para espécies exploradas comercialmente nas Filipinas (CALUMPONG *et al.*, 1999), embora outros testes, acerca dos protocolos de extração e da qualidade do gel das populações do sul do Brasil sejam necessários para confirmar seu potencial econômico.

Analisando os resultados obtidos, o protocolo que apresentou melhor rendimento de ágar e teor intermediário de 3,6-anidrogactose e de sulfato foi o de extração com NaOH. O protocolo que apresentou o teor mais elevado de 3,6-anidrogactose foi justamente aquele que mostrou o rendimento mais baixo. Por estes motivos, a seleção do protocolo com pré-tratamento alcalino a frio com NaOH parece ser o melhor, dentre os protocolos avaliados. Entretanto, avaliações de pré-tratamentos alcalinos a quente, com variações das condições de extração, para as populações do sul do Brasil se fazem necessárias.

4.3 – Comparação do ágar de *G. domingensis* e *G. caudata*, extraído por meio de diferentes protocolos

Gracilaria domingensis apresentou rendimento de ágar superior a *G. caudata*, independente do protocolo de extração em questão, indicando que em relação ao rendimento de ágar, *G. domingensis* foi a mais produtiva. Entretanto, o desempenho dos protocolos de extração apresentou um padrão inverso para as duas espécies: os protocolos que apresentaram melhor rendimento para *G. domingensis* indicaram o pior desempenho para *G. caudata*, afirmando a necessidade de se realizar mais testes com esta espécie. O protocolo que apresentou o maior rendimento para *G. domingensis* foi CaCl_2 1%, o qual mostrou o menor rendimento para *G. caudata*. Por outro lado, o protocolo com maior rendimento para *G. caudata* (NaOH) foi o que

apresentou o menor rendimento para *G. domingensis*, o que demonstrou que as duas espécies possuem ágaros com características químicas distintas.

Embora não tenha sido observada diferença significativa entre as espécies (com exceção da extração com CaCl_2 1%, quando houve diferença entre elas), os teores de 3,6-anidrogactose de *G. caudata* apresentaram-se mais elevados que os observados para *G. domingensis*. Apesar disso, os teores observados para ambas espécies foram baixos se comparados a outras espécies de *Gracilaria* (Tab. 5). Por outro lado, os percentuais de sulfato foram mais elevados para *G. domingensis*, em todos os protocolos testados, tendo sido superiores àqueles apresentados por outras espécies (Tab. 6). Para *G. caudata*, os teores observados foram comparáveis aos obtidos por outras espécies, mantendo-a entre aquelas com potencial econômico para a produção de ágar. De fato, *G. caudata* tem sido explorada no litoral do nordeste brasileiro como fonte de ágar (OLIVEIRA & MIRANDA, 1998) enquanto *G. domingensis* tem sua utilidade como alimento (OLIVEIRA, 2006).

Comparando as duas espécies para os mesmos protocolos de extração de ágar, observou-se que *G. domingensis* apresentou sempre maior conteúdo de ágar que *G. caudata*. Notou-se ainda que houve uma grande influência da metodologia de extração de ágar empregada nos rendimentos e também nas características químicas observadas. Além disso, não houve diferenças significativas nos teores de 3,6-anidrogactose para ambas espécies, indicando que os teores deste açúcar podem ser aumentados com a concomitante diminuição dos teores de sulfato. Assim, de acordo com HURTADO-PONCE (1992) e VILLANUEVA *et al.* (1997), cada espécie pode produzir um ágar diferente conforme a metodologia empregada para a extração do ficolóide, e faz-se necessário, por isto, testar os diferentes protocolos para obter aquele que produz o ágar com as melhores características, dentro das possibilidades da espécie, para a região em questão, visto que existem diferenças intraespecíficas regionais.

Embora tenha sido possível obter altos teores de ágar para *G. domingensis* por meio da extração com CaCl_2 , outros testes, como o pré-tratamento alcalino a quente em temperaturas mais baixas, poderiam trazer novas informações sobre o ágar desta espécie. Como os resultados obtidos para *G. domingensis* em relação aos vários protocolos de extração foram inversos aos observados para *G. caudata*, é recomendável testar vários protocolos diferentes para a extração de ágar desta última, buscando um melhor conhecimento de seu potencial como produtora de ágar.

Embora *G. domingensis* seja explorada para utilização na alimentação humana, os resultados mostraram que o ágar desta espécie pode ter utilidade na indústria alimentícia, quando extraído por meio de protocolos alternativos, pouco utilizados para

extração de ágar deste gênero, como foi o caso da extração com CaCl_2 e como recomendaram VILLANUEVA *et al.* (1997). Para estes autores, a otimização do tratamento alcalino (com relação à temperatura, concentração do álcali e o tempo de extração) deve ser feita para espécies de agarófitas, especialmente aquelas caracterizadas por produzirem ágar de baixa qualidade, uma vez que este procedimento pode torná-las mais atraentes do ponto de vista comercial.

Apesar dos baixos valores de 3,6-anidrogallactose observados, tanto para *G. domingensis* como para *G. caudata*, estes foram próximos aos de ágares utilizados para fins alimentícios, o que sugere que ambas apresentam potencial para tal utilização, sendo igualmente boas candidatas. Além disto, as variações observadas no rendimento e na qualidade do ágar em função da metodologia de extração demonstraram claramente a necessidade de avaliação dos protocolos para definição do potencial da alga como produtora do ficocolóide. Certamente testes de novos protocolos de extração e pré-tratamentos, poderão indicar potenciais melhorias na qualidade do ágar das espécies estudadas.

4.4 – Avaliação do ágar de *G. domingensis* extraído de mudas provenientes do banco natural e dos cultivos

A ausência de sazonalidade para os teores de ágar de *G. domingensis* coletada tanto em bancos naturais como nas duas áreas de cultivo, se refletiu também nos teores de 3,6-anidrogallactose e de sulfato. Apesar da ausência de variação observada neste trabalho os dados corroboraram as observações de alguns autores (*e.g.*: HOYLE, 1978a; MARINHO-SORIANO *et al.*, 2001) que justificaram que fatores locais como disponibilidade de nutrientes e hidrodinâmica (BIRD, 1988; MARINHO-SORIANO & BOURRET, 2003), assim como variações destes em curta escala temporal, muitas vezes poderiam mascarar tais variações sazonais. Por outro lado, vários outros reportaram variações sazonais para o rendimento e para a qualidade do ágar (*e.g.*: PRICE & BIELIG, 1992; VILLANUEVA *et al.*, 1999; MARINHO-SORIANO & BOURRET, 2003).

Em *G. bursa-pastoris* da França os picos nos rendimentos de ágar foram obtidos no verão (MARINHO-SORIANO, 2001), ao passo que esta mesma espécie no Havaí não mostrou uma variação sazonal (HOYLE, 1978a). O ágar nativo de *G. cornea* foi analisado no México e os autores afirmaram que houve um claro padrão sazonal no rendimento de ágar, cujos teores aumentaram a partir da estação seca até a chuvosa, diminuindo até a estação fria, quando o rendimento foi mínimo (FREILE-PELEGRÍN & ROBLEDO, 1997). MARINHO-SORIANO & BOURRET (2003) discutiram a relação existente entre os rendimentos de ágar de duas espécies (*G. gracilis* e *G.*

bursa-pastoris) e as estações do ano na França e concluíram que ambas mostraram variação no rendimento de ágar de acordo com as estações, com maiores valores, em geral, no verão e na primavera, os quais coincidiram com os maiores valores de temperatura e salinidade. No litoral nordeste brasileiro, MARINHO-SORIANO *et al.* (2001) mostraram que *G. cervicornis* não apresentou um padrão sazonal definido, com rendimento de ágar variando entre 11 e 20%, mas com a média mais alta na estação seca (verão) e *Hydropuntia cornea* (= *G. cornea*), embora tenha apresentado teores mais altos que a espécie anterior (entre 29 e 41%), com um pico no mês de junho, não mostrou um padrão sazonal nos rendimentos obtidos. No litoral paulista, ASSAD-LUDEWIGS (1984) verificou que o rendimento de ágar de *G. verrucosa* (= *G. caudata*) variou entre 22,3 e 32,1%, com o máximo no verão.

Embora em nosso estudo não tenha sido possível estabelecer um padrão sazonal para as amostras dos cultivos, nas amostras do banco natural notou-se uma tendência de aumento nos rendimentos de ágar entre o inverno e a primavera para os três anos analisados. Contudo, essa tendência não resultou em uma diferença significativa em relação aos demais meses de coleta.

A tendência sazonal nos teores e na qualidade do ágar geralmente é atribuída a variações nas taxas de crescimento, com maior rendimento e qualidade nos períodos de menores taxas de crescimento (LOBBAN & HARRISON, 1997). Como as taxas de crescimento de *G. domingensis* na Armação do Itapocoroy não apresentaram sazonalidade definida (vide Capítulo 2), certamente este é um fator que está relacionado à ausência de sazonalidade também para rendimento do ágar. Este fato, juntamente com a elevada variabilidade temporal observada, permitem sugerir que outros fatores que não a sazonalidade estejam definindo tanto as taxas de crescimento, como o rendimento e a qualidade do ágar de *G. domingensis* na Armação do Itapocoroy.

O rendimento de ágar no banco natural variou entre 29,0 e 50,8%, com a maioria dos meses apresentando rendimentos superiores a 35%. Quanto ao rendimento obtido das amostras do cultivo no Local 1, o percentual variou entre 32,0 e 45,2% ao longo do período experimental e o rendimento percentual no Local 2 ficou entre 25,3 e 48,8%, com a maioria dos meses apresentando rendimentos superiores a 40%. Apesar de haver diferenças significativas entre estes valores, os teores de ágar dos três locais apresentaram-se bastante semelhantes.

O rendimento de ágar no banco natural variou entre 29,0 e 50,8%, com a maioria dos meses apresentando rendimentos superiores a 35,0%. No Local 1, o percentual variou entre 32,0 e 45,2% ao longo do período experimental, enquanto no Local 2 ficou entre 25,3 e 48,8%, com a maioria dos meses apresentando rendimentos

superiores a 40%. Apesar de haver diferenças significativas entre eles, os teores de ágar dos três locais apresentaram-se bastante semelhantes, quando comparados simultaneamente. Os altos rendimentos de ágar e a ausência de padrão sazonal para *G. domingensis* indicaram que tal espécie pode ser coletada em qualquer época, sem que isso acarrete em uma diminuição nos rendimentos do ficocolóide. Esta informação, em conjunto com a observação da ausência de sazonalidade para as taxas de crescimento (Capítulo 2), reforça a idéia de *G. domingensis* poder ser explotada ao longo de todo o ano na enseada de Armação do Itapocoroy.

O mesmo foi observado para os teores de 3,6-anidrogactose nas amostras dos três locais, que apresentaram quantidades semelhantes: no banco natural (5,49 a 7,22%), no Local 1 (5,25 a 8,12%) e no Local 2 (5,2 e 10,06%). Apesar de variarem em uma faixa bastante estreita, estes teores não se apresentaram dentro do considerado para o ágar comercial, acima de 15%. Embora estes teores sejam considerados baixos para sua utilização na extração de ágar, como foi sugerido por VILLANUEVA *et al.* (1997), a otimização das condições de extração podem resultar em ágares com melhor qualidade.

Os teores de sulfato foram elevados (acima de 6%), embora seja citado na literatura que teores de até 10% de sulfato são comuns em espécies de *Gracilaria*. Neste contexto, o pré-tratamento alcalino poderia aumentar o teor de 3,6-anidrogactose e diminuir o de sulfato, caso o sulfato do ágar de *G. domingensis* esteja ligado ao C-6 da α -L-gactose, embora, como já citado anteriormente, testes de tratamento alcalino a quente em temperaturas amenas sejam necessários para testar tal hipótese. Os resultados obtidos permitiram concluir que não houve influência das condições do cultivo nos Locais 1 e 2 nas características do ágar extraído, rendimentos percentuais, teores de 3,6-anidrogactose e de sulfato ao longo do período experimental.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACLETO, C. O. 1998. The seaweed resources of Peru. *In*: CRITCHLEY, A. T. & OHNO, M. (eds). Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 343-346pp.
- ALVEAL, K. 1998. The seaweed resources of Chile. *In*: CRITCHLEY, A. T. & OHNO, M. (eds). Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 347-365pp.
- ALVEAL, K. 2006. Seaweed resources of Chile. *In*: CRITCHLEY, A. T.; OHNO, M. & Largo, D. B. (eds). World Seaweed Resources. An authoritative reference system. DVD rom (ISBN 90 75000 80 4). ETI Informations Services LTD.
- APONTE-DIAZ, M. & CASTRO, A. L. L. 1989. Comparative study of the agar obtained from three species *Gracilaria* feasible for culture in Venezuela. *In*: OLIVEIRA, E. C. & KAUTSKY, N. (eds). Workshop Cultivation of seaweeds in Latin America. Universidade de São Paulo - Int. Foundation for Science. São Sebastião, São Paulo. 117-119pp.
- ARAÑO, K. G.; TRONO Jr, G. C.; MONTAÑO, N. E.; HURTADO, A. Q. & VILLANUEVA, R. D. 2000. Growth, agar yield and quality of selected agarophyte species from the Philippines. *Bot. Mar.* **43**: 517-524.
- ARMISEN, R. 1995. World-wide use and importance of *Gracilaria*. *J. App. Phycol.* **7**: 231-243.
- ARMISEN, R. & GALATAS, F. 1987. Production, properties and uses of agar. *In*: McHUGH, D. J. (ed). Production and utilization of products from commercial seaweeds. *FAO Tech. Pap.* 288. Rome. 1-57pp.
- ASARE, S. O. 1980. Seasonal changes in sulphate and 3,6-anhydrogalactose content of phycocolloids from two red algae. *Bot. Mar.* **23**: 595-598.
- ASSAD-LUDEWIGS, I. Y. 1984. *Estudos sobre a biologia de uma espécie de Gracilaria (Rhodophyta, Gigartinales) do litoral norte do estado de São Paulo, Brasil*. Tese de doutorado. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 190 p.

- BELLORIN, A. M. 2002. *Sistemática e filogenia molecular de algas gracilarióides (Gracilariaceae, Rhodophyta)*. Tese de doutorado. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo. 194 p.
- BIRD, K. T. 1988. Agar production and quality from *Gracilaria* sp. strain G-16: effects of environmental factors. *Bot. Mar.* **31**: 33-39.
- BIRD, K. T. & HINSON, T. K. 1992. Seasonal variations in agar yields and quality from North Carolina agarophytes. *Bot. Mar.* **35**: 291-295.
- BIRD, K. T.; HANISAK, M. D. & RYTHER, J. 1981. Chemical quality and production of agars extracted from *Gracilaria tikvahiae* grown in different nitrogen enrichment conditions. *Bot. Mar.* **24**: 441-444.
- CALUMPONG, H. P.; MAYPA, A.; MAGBANUA, M. & SUAREZ, P. 1999. Biomass and agar assessment of three species of *Gracilaria* from Negros Island, central Philippines. *Hydrobiologia* **398/399**: 173-182.
- CHIRAPART, A. & OHNO M. 1993. Seasonal variation in the physical properties of agar and biomass of *Gracilaria* sp. (*chorda* type) from Tosa Bay, Southern Japan. *Hydrobiologia* **260/261**: 541-547.
- COSSON, J.; DESLANDES, E.; ZINOUN, M. & MOURADI-GIVERNAUD, A. 1995. Carrageenans and agars, red algal polysaccharides. *Prog. Phycol. Res.* **11**: 269-324.
- CRAIGIE, J. S. 1990. Cell walls. In: COLE, K. M. & SHEATH, R. G. (eds). Biology of the red algae. Cambridge Univ. Press. Cambridge. 221-257pp.
- DUCKWORTH, M.; HONG, K. C. & YAPHE, W. 1971. The agar polysaccharides of *Gracilaria* species. *Carbohydrate Research* **18**: 1-9.
- DURAIRATNAM, M. 1987. Studies on the yield and gel strength of agar from *Gracilaria edulis* (Gmel.) Silva from Brazil. *Hydrobiologia* **151/152**: 509-512.
- DURAIRATNAM, M. & SANTOS, N. Q. 1981. Agar from *Gracilaria verrucosa* (Hudson) Papenfuss and *Gracilaria sjoestedtii* Kylin from Brazil. Proc. 10th Int. Seaw. Symp.: 669-674.
- DURAIRATNAM, M.; MEDEIROS, T. M. B. & SENA, A. M. 1990. Studies on the yield and gel strength of agar from *Gracilaria domingensis* Sonder ex Kuetzing

- (Gracilariales, Rhodophyta) following the addition of calcium. *Hydrobiologia* **204/205**: 551-553.
- FREILE-PELEGRÍN, Y. & ROBLEDO, D. 1997. Effects on the agar content and chemical characteristics of *Gracilaria cornea* from Yucatán, México. *Bot. Mar.* **40**: 285-290.
- FRIEDLANDER, M. & ZELIKOVITCH, N. 1984. Growth rates, phycocolloid yield and quality of the red seaweeds, *Gracilaria* sp., *Pterocladia capillacea*, *Hypnea musciformis*, and *Hypnea cornuta*, in field studies in Israel. *Aquaculture* **40**: 57-66.
- FURTADO, M. 2005. Aditivos de alimentos. Desequilíbrio climático abre mercado para novos hidrocolóides. *Química e Derivados* **430**. In: <http://quimica.com.br/revista>. (Acesso em 07/11/05).
- GERUNG, G. S.; KAMURA, S. & OHNO, M. 1997. Phenology and agar yield of *Gracilaria blodgettii* in the tropical water, Okinawa, Japan. *Bull. Mar. Sci. Fish.* **17**: 23-28.
- HANISAK, M. D. 1998. Seaweed cultivation: global trends. *World Aquaculture* **29**: 18-21.
- HOYLE, M. D. 1978a. Agar studies in two *Gracilaria* species (*G. bursa-pastoris* (Gmelin) Silva and *G. coronopifolia* J. Ag.) from Hawaii. I. Yield and gel strength in the gametophyte and tetrasporophyte generations. *Bot. Mar.* **21**: 343-345.
- _____ 1978b. Agar studies in two *Gracilaria* species (*G. bursa-pastoris* (Gmelin) Silva and *G. coronopifolia* J. Ag.) from Hawaii. II. Seasonal aspects. *Bot. Mar.* **21**: 347-352.
- HURTADO-PONCE, A. Q. 1992. Influence of extraction time on the rheological properties of agar from some *Gracilaria* species from the Philippines. *Bot. Mar.* **35**: 441-445.
- ISTINI, S.; OHNO, M. & KUSUNOSE, H. 1994. Methods of analysis for agar, carrageenan and alginate in seaweed. *Bull. Mar. Sci. Fish.* **14**: 49-55.
- ISTINI, S.; ZATNIKA, A. & SUJATMIKO, W. 1998. The seaweed resources of Indonesia. In: CRITCHLEY, A. T. & OHNO, M. (eds). Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 92-98pp.

- JENSEN, A. 1993. Present and future needs for algae and algal products. *Hydrobiologia* **260/261**: 15-23.
- JUANES, J. A. & SOSA, P. A. 1998. The seaweed resources of Spain. *In*: CRITCHLEY, A. T. & OHNO, M. (eds). Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 164-175pp.
- KAAS, R. 1998. The seaweed resources of France. *In*: CRITCHLEY, A. T. & OHNO, M. (eds). Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 233-244pp.
- KLOAREG, B. & QUATRANO, S. 1988. Structures of the cell wall of marine algae and ecophysiological functions of the matrix polysaccharides. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* **26**: 259-315.
- LEVY, I.; BEER, S. & FRIEDLANDER, M. 1990. Growth, photosynthesis and agar in wild-type strains of *Gracilaria verrucosa* and *G. conferta* (Gracilariales, Rhodophyta), as a strain selection experiment. *Hydrobiologia* **204/205**: 381-387.
- LOBBAN, C. S. & HARRISON, P. J. 1997. Seaweed ecology and physiology. Cambridge University Press. 366 p.
- MARINHO-SORIANO, E. 2001. Biomass and agar yield of *Gracilaria bursa-pastoris* in a Mediterranean lagoon. *Seaweed Res. Util.* **21** (1-2): 1-8.
- MARINHO-SORIANO, E. & BOURRET, E. 2003. Effects of season on the yield and quality of agar from *Gracilaria* species (Gracilariaceae, Rhodophyta). *Bioresour. Technol.* **90**: 329-333.
- MARINHO-SORIANO, E.; SILVA, T. S. F. & MOREIRA, W. S. C. 2001. Seasonal variation in the biomass and agar yield from *Gracilaria cervicornis* and *Hydropuntia cornea* from Brazil. *Bioresour. Technol.* **77**: 115-120.
- MARINHO-SORIANO, E.; BOURRET, E.; DE CASABIANCA, M. L. & MAURY, L. 1999. Agar from the reproductive and vegetative stages of *Gracilaria bursa-pastoris*. *Bioresour. Technol.* **67**: 1-5.
- MATSUHIRO, B. 1995. Aislamiento y caracterización de ficocolóides. *In*: ALVEAL, K.; FERRARIO, M. E.; OLIVEIRA, E. C. & SAR, E. (eds). Manual de métodos ficológicos. Universidad de Concepción. Concepción, Chile. 657-689pp.

- MATULEWICZ, M. C. 1996. Polisacáridos de algas rojas: agar. *In*: FERRARIO, M. & SAR, E. (eds). Macroalgas de interés económico. Cultivo, manejo, industrialización. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 111-133pp.
- McHUGH, D. J. 2003. A guide to seaweed industry. *FAO Fisheries Technical Paper n° 441*. Rome. 105 p.
- MURANO, E. 1995. Chemical structure and quality of agars from *Gracilaria*. *J. App. Phycol.* **7**: 245-254.
- OLIVEIRA, E. C. 1998. The seaweed resources of Brazil. *In*: CRITCHLEY, A. T. & OHNO, M. (eds). Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 366-371pp.
- OLIVEIRA, E. C. 2006. The seaweed resources of Brazil. *In*: CRITCHLEY, A. T.; OHNO, M. & LARGO, D. B. (eds). *World Seaweed Resources. An authoritative reference system*. DVD.
- OLIVEIRA, E. C. & MIRANDA, G. E. C. 1998. Aspectos sociais e econômicos da exploração de algas marinhas no Brasil. *In*: PAULA, E. J.; CORDEIRO-MARINO, M.; SANTOS, D. P.; PLASTINO, E. M.; FUJII, M. T. & YOKOYA, N. S. (eds). *Anais do IV Congresso Latino-americano, II Reunião Ibero-americana, VII Reunião Brasileira de Ficologia*. Caxambu, MG. Sociedade Ficológica da América Latina e Caribe & Sociedade Brasileira de Ficologia: 149-156.
- OLIVEIRA, E.C.; ALVEAL, K. & ANDERSON, R. 2000. Mariculture of the agar-producing Gracilarioid red algae. *Reviews in Fisheries Science* **8**(4): 345-378.
- OROSCO, C. A.; SAITO, Y.; SAWAMURA, M.; OHNO, M. & KUSUNOSE, H. 1991. Studies on chemical properties of agar from *Gracilaria chorda*. *Research Reports of Kochi University* **40**: 1-6.
- OROSCO, C. A.; CHIRAPART, A.; NUKAYA, M.; OHNO, M.; SAWAMURA, M. & KUSUNOSE, H. 1992. Yield and physical characteristics of agar from *Gracilaria chorda* Holmes: comparison with those from Southeast Asian species. *Nippon Suisan Gakkaishi* **58**(9): 1711-1716.
- PAZETO, F. D. 2001. *Cultivo experimental de Gracilaria domingensis (Gracilariaceae, Rhodophyta) e avaliação do seu teor de ágar*. Trabalho de conclusão de curso.

Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí. Santa Catarina. 34p.

PRICE, I. R. & BIELIG, L. M. 1992. Agar yield from *Gracilaria edulis* (Gracilariales, Rhodophyta) in the Towsville Region, Eastern Tropical Australia. *Bot. Mar.* **35**: 457-460.

REBELLO, J.; OHNO, M.; UKEDA, H. & SAWAMURA, M. 1997. Agar quality of commercial agarophytes from different geographical origins: 1. Physical and rheological properties. *J. App. Phycol.* **8**: 517-521.

ROBLEDO, D. 1998. The seaweed resources of Mexico. *In*: CRITCHLEY, A. T. & OHNO, M. (eds). Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 331-342pp.

SAITO, R. M. M. 1997. *Extração e propriedades físico-químicas do colóide de uma alga brasileira (*Gracilariopsis tenuifrons* – Rhodophyta)*. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo. São Paulo. 80p.

SOHN, C. H. 1998. The seaweed resources of Korea. *In*: CRITCHLEY, A. T. & OHNO, M. (eds). Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 15-33pp.

SOUSA-PINTO, I. 1998. The seaweed resource of Portugal. *In*: CRITCHLEY, A. T. & OHNO, M. (eds). Seaweed resources of the world. Japan International Cooperation Agency. Yokosuka, Japan. 176-184pp.

VILLANUEVA, R. D.; PAGBA, C. V. & MONTAÑO, N. E. 1997. Optimized agar extraction from *Gracilaria euchemoides* Harvey. *Bot. Mar.* **40**: 369-372.

VILLANUEVA, R. D.; MONTAÑO, N. E.; ROMERO, J. B.; ALIGANGA, A. K. A. & ENRIQUEZ, E. P. 1999. Seasonal variation in the yield, gelling properties and chemical composition of agars from *Gracilaria euchemoides* and *Gelidiella acerosa* (Rhodophyta) from Philippines. *Bot. Mar.* **42**: 175-182.

WHYTE, J. N. C. & ENGLAR, J. R. 1980. Chemical composition and quality of agars in the morphotypes of *Gracilaria* from British Columbia. *Bot. Mar.* **23**: 277-283.

ZAR, J. H. 1999. Biostatistical Analysis. 4th ed. Prentice Hall. New Jersey, EUA. 661 p.

Capítulo IV

Considerações Finais

1 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados deste trabalho, podemos concluir, com relação ao cultivo de *Gracilaria domingensis* na Enseada da Armação do Itapocoroy, que:

- O melhor desempenho de *G. domingensis*, em termos de taxas de crescimento e rendimento em biomassa, ocorre em profundidades de até 2 metros.
- A manutenção da alga nas estruturas de cultivo por mais de 2 semanas só é viável em situações de mar muito calmo. Em situações de mar agitado, a perda de biomassa é elevada, tornando o cultivo inviável.
- O espaçamento entre as mudas não afeta as taxas de crescimento, mas distâncias menores que 5 cm dificultam o manejo da corda, aumentando a possibilidade de fragmentação das algas.
- Como as taxas de crescimento são inversamente proporcionais à biomassa da muda, e além disto mudas maiores estão mais sujeitas à fragmentação, mudas com mais de 5 g não devem ser utilizadas. Entretanto, mudas muito pequenas resultam em pouco ganho de biomassa no período de cultivo, devendo, portanto ser evitadas.
- A variabilidade dos fatores ambientais em curta escala de tempo determina as taxas de crescimento e o rendimento em biomassa, mascarando qualquer padrão sazonal que possa ocorrer.

Com relação à comparação entre *Gracilaria domingensis* e *Gracilaria caudata*, podemos concluir que:

- Ambas espécies apresentam comportamento similar quanto às taxas de crescimento relação à profundidade e ao tempo de cultivo.
- As taxas de crescimento e o rendimento em biomassa são bastante similares entre ambas, evidenciando igual potencial de cultivo, apesar de *G. caudata* ser menos abundante nos bancos naturais da região.

Considerando os resultados, podemos concluir, com relação às características do ágar de *Gracilaria domingensis* e de *G. caudata* procedentes de populações naturais e dos cultivos na Enseada da Armação do Itapocoroy (Penha, SC), que:

- Os protocolos mais adequados para a extração de ágar de *Gracilaria domingensis* foram os com CaCl_2 em ambas concentrações (0,5 e 1%).
- O protocolo mais adequado para a extração de ágar *Gracilaria caudata* foi o de pré-tratamento alcalino a frio com NaOH.

- *G. domingensis* apresentou maior rendimento de ágar do que *G. caudata* em todos os protocolos comparados.
- As respostas de rendimento de *G. caudata* aos diferentes protocolos, que foram inversas às respostas apresentadas por *G. domingensis*, indicam diferenças na composição dos géis, sugerindo-se estudos posteriores.
- O teor de ágar de *G. domingensis* foi elevado ao longo de todo o ano, apesar dos baixos teores de 3,6-anidrogactose.
- Apesar da variabilidade observada, não houve padrão sazonal definido para os teores de ágar, nem para 3,6-anidrogactose ou sulfato.

2 – SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

- É importante, para a avaliação do potencial de cultivo de algas no Estado, verificar o desempenho das algas em áreas de menor hidrodinamismo que a Enseada de Armação do Itapocoroy. Vários parques de cultivo de moluscos no Estado ocupam áreas de baixo hidrodinamismo e baixa taxa de renovação da água. Tal característica pode ser favorável tanto pela redução da fragmentação dos talos, como pela maior concentração de nutrientes geralmente observada nestas áreas, em função do cultivo de moluscos e do elevado tempo de residência da água.
- A elevada variabilidade observada para *Gracilaria domingensis*, tanto na morfologia, como nas taxas de crescimento e no grau de epifitismo, evidencia a necessidade de se investir na seleção de linhagens, que certamente deverá incrementar o potencial desta espécie para o cultivo.
- *Gracilaria caudata* apresenta um potencial de crescimento similar ao observado para *Gracilaria domingensis*, devendo ser investigada com maior detalhamento.
- Os bancos naturais de *Gracilaria domingensis* e de *Gracilaria caudata* no litoral centro-norte catarinense são pequenos para sustentar a implantação e manutenção de cultivos em escala comercial. O desenvolvimento do cultivo por meio de esporos é uma necessidade, e deve ser uma das metas para estudos futuros. Neste aspecto, a região parece ser bastante favorável, uma vez que ambas espécies apresentam elevada frequência de plantas cistocárpicas.
- O rendimento e a qualidade do ágar de *G. domingensis* podem ser avaliados em extrações alcalinas em temperaturas mais baixas que 70°C.
- Outros protocolos de extração para *G. caudata*, além daqueles realizados no presente trabalho podem ser testados, em diferentes condições de extração.

Anexos

ANEXO 1: DADOS AMBIENTAIS REFERENTES ÀS DATAS DOS EXPERIMENTOS DE CULTIVO REALIZADOS DA ENSEADA DA ARMAÇÃO DO ITAPOCOROY, FORNECIDOS PELO PROJETO OLHO VIVO.

Data do experimento	Força do vento	Direção do vento	Condição do mar
05/09/02	CALMO	NORDESTE	MODERADO
06/09/02	MODERADO	NORDESTE	CALMO
07/09/02	FORTE	SUL	MODERADO
08/09/02	FORTE	SUL	CALMO
09/09/02	MODERADO	SUL	MODERADO
10/09/02	MODERADO	LESTE	BRAVO
11/09/02	MODERADO	LESTE	BRAVO
12/09/02	FORTE	SUL	BRAVO
13/09/02	MODERADO	SUDESTE	MODERADO
14/09/02	FORTE	SUL	CALMO
15/09/02	CALMO	SUL	CALMO
16/09/02	MODERADO	OESTE	MODERADO
17/09/02	MODERADO	SUL	MODERADO
18/09/02	FORTE	LESTE	MODERADO
19/09/02	FORTE	LESTE	BRAVO
20/09/02	FORTE	SUL	BRAVO
21/09/02	MODERADO	OESTE	MODERADO
22/09/02	CALMO	LESTE	MODERADO
23/09/02	FORTE	LESTE	CALMO
24/09/02	MODERADO	SUDESTE	CALMO
25/09/02	MODERADO	LESTE	MODERADO
26/09/02	MODERADO	NORDESTE	CALMO
27/09/02	MODERADO	NORDESTE	MODERADO
28/09/02	FORTE	LESTE	MODERADO
29/09/02	MODERADO	NORDESTE	MODERADO
30/09/02	CALMO	SUL	CALMO
01/10/02	FORTE	SUL	MODERADO
02/10/02	MODERADO	LESTE	BRAVO
03/10/02	FORTE	LESTE	MODERADO
29/10/02	CALMO	NORDESTE	CALMO
30/10/02	FORTE	SUL	CALMO
31/10/02	FORTE	SUDESTE	CALMO
01/11/02	MODERADO	SUL	MODERADO
02/11/02	MODERADO	NORDESTE	CALMO
03/11/02	MODERADO	LESTE	CALMO
04/11/02	FORTE	SUL	
05/11/02	FORTE	SUL	CALMO
06/11/02	FORTE	SUL	CALMO
07/11/02	MODERADO	LESTE	MODERADO
08/11/02	MODERADO	LESTE	CALMO
09/11/02	FORTE	LESTE	BRAVO
10/11/02	FORTE	LESTE	BRAVO
11/11/02	FORTE	OESTE	

Continuação...

Data do experimento	Força do vento	Direção do vento	Condição do mar
12/11/02	CALMO	LESTE	CALMO
05/02/03	MODERADO	NORDESTE	MODERADO
06/02/03	MODERADO	NORDESTE	CALMO
07/02/03	MODERADO	NORDESTE	CALMO
08/02/03	FORTE	NORDESTE	CALMO
09/02/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
10/02/03	MODERADO	NORDESTE	MODERADO
11/02/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
12/02/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
13/02/03	FORTE	SUL	CALMO
14/02/03	MODERADO	SUL	CALMO
15/02/03	MODERADO	NORDESTE	CALMO
16/02/03	MODERADO	NORDESTE	CALMO
17/02/03	FORTE	SUL	CALMO
18/02/03	CALMO	OESTE	CALMO
19/02/03	MODERADO	LESTE	CALMO
07/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
08/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
09/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
10/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
11/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
12/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
13/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
20/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
21/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
22/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
23/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
24/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
25/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
26/03/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
27/03/03		CHUVA FORTE	
28/03/03	CALMO	SUL	BRAVO
29/03/03	MODERADO	NOROESTE	CALMO
30/03/03	FORTE	NORDESTE	CALMO
31/03/03	FORTE	SUL	CALMO
01/04/03	MODERADO	SUL	CALMO
02/04/03	MODERADO	SUL	CALMO
04/04/03	MODERADO	SUL	CALMO
05/04/03	MODERADO	NORDESTE	MODERADO
06/04/03	MODERADO	OESTE	MODERADO
07/04/03	CALMO	SUL	CALMO
08/04/03	CALMO	LESTE	MODERADO
09/04/03	CALMO	LESTE	CALMO
10/04/03	MODERADO	SUL	CALMO

Continuação...

Data do experimento	Força do vento	Direção do vento	Condição do mar
30/04/03	CALMO	OESTE	CALMO
01/05/03	MODERADO	SUDOESTE	MODERADO
02/05/03	MODERADO	SUL	CALMO
03/05/03	MODERADO	SUL	CALMO
04/05/03	MODERADO	SUL	CALMO
05/05/03	MODERADO	SUDESTE	CALMO
06/05/03	MODERADO	OESTE	CALMO
07/05/03	FORTE	OESTE	BRAVO
08/05/03	MODERADO	OESTE	CALMO
09/05/03	MODERADO	SUL	CALMO
10/05/03	CALMO	SUDOESTE	CALMO
11/05/03	CALMO	SUDESTE	MODERADO
12/05/03	MODERADO	SUDESTE	MODERADO
13/05/03	MODERADO	SUDESTE	CALMO
14/05/03	MODERADO	SUL	CALMO
16/05/03	CALMO	NORTE	CALMO
17/05/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
18/05/03	CALMO	SUDOESTE	CALMO
19/05/03	CALMO	SUL	CALMO
20/05/03	CALMO	SUL	CALMO
21/05/03	FORTE	NOROESTE	MODERADO
22/05/03	MODERADO	NORDESTE	MODERADO
23/05/03	CALMO	NORDESTE	MODERADO
24/05/03	FORTE	OESTE	MODERADO
25/05/03	MODERADO	OESTE	MODERADO
26/05/03	CALMO	OESTE	MODERADO
27/05/03	CALMO	OESTE	CALMO
28/05/03	CALMO	SUL	CALMO
29/05/03	CALMO	OESTE	CALMO
30/05/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
31/05/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
01/06/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
02/06/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
03/06/03	MODERADO	SUL	CALMO
04/06/03	MODERADO	SUL	CALMO
05/06/03	CALMO	SUL	MODERADO
06/06/03	CALMO	SUL	BRAVO
07/06/03	MODERADO	SUL	MODERADO
08/06/03	CALMO	SUL	CALMO
09/06/03	MODERADO	OESTE	CALMO
10/06/03	CALMO	NOROESTE	CALMO
11/06/03	MODERADO	NORDESTE	MODERADO

Continuação...

Data do experimento	Força do vento	Direção do vento	Condição do mar
17/07/03	MODERADO	SUL	MODERADO
18/07/03	FORTE	LESTE	BRAVO
19/07/03	MODERADO	LESTE	CALMO
20/07/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
21/07/03	CALMO	SUL	MODERADO
22/07/03	CALMO	SUL	MODERADO
23/07/03	CALMO	NORDESTE	MODERADO
24/07/03	CALMO	SUDOESTE	MODERADO
25/07/03	CALMO	NOROESTE	MODERADO
26/07/03	CALMO	SUL	MODERADO
27/07/03	CALMO	SUL	CALMO
28/07/03	CALMO	SUL	MODERADO
29/07/03	CALMO	OESTE	MODERADO
30/07/03	FORTE	SUL	CALMO
31/07/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
01/08/03	MODERADO	NORDESTE	MODERADO
02/08/03	MODERADO	NORDESTE	MODERADO
03/08/03	FORTE	NORDESTE	MODERADO
04/08/03	CALMO	OESTE	CALMO
05/08/03	MODERADO	NORDESTE	MODERADO
06/08/03	CALMO	SUL	CALMO
08/08/03	MODERADO	NORDESTE	MODERADO
09/08/03	CALMO	OESTE	MODERADO
10/08/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
11/08/03	CALMO	SUDESTE	CALMO
12/08/03	CALMO	SUDOESTE	CALMO
13/08/03	MODERADO	SUDOESTE	MODERADO
14/08/03	CALMO	NOROESTE	CALMO
21/08/03	MODERADO	NORDESTE	MODERADO
22/08/03	CALMO	NOROESTE	CALMO
23/08/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
24/08/03	CALMO	SUDOESTE	MODERADO
25/08/03	CALMO	SUDOESTE	MODERADO
26/08/03	FORTE	SUDESTE	CALMO
27/08/03	FORTE	SUL	CALMO
28/08/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
29/08/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
30/08/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
31/08/03	CALMO	NORDESTE	BRAVO
01/09/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
02/09/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
03/09/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
04/09/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
05/09/03	CALMO	NORTE	CALMO

Continuação...

Data do experimento	Força do vento	Direção do vento	Condição do mar
06/09/03	CALMO	SUL	CALMO
07/09/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
08/09/03	CALMO	NORDESTE	MODERADO
09/09/03	CALMO	NORDESTE	MODERADO
10/09/03	CALMO	OESTE	CALMO
11/09/03	CALMO	SUDOESTE	
12/09/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
13/09/03	CALMO	SUDOESTE	MODERADO
14/09/03	MODERADO	SUDOESTE	CALMO
15/09/03	CALMO	SUDESTE	CALMO
16/09/03	CALMO	SUDESTE	CALMO
17/09/03	CALMO	NORDESTE	MODERADO
18/09/03	MODERADO	SUL	MODERADO
25/09/03	MODERADO	SUDOESTE	CALMO
26/09/03	MODERADO	SUDOESTE	CALMO
27/09/03	MODERADO	LESTE	MODERADO
28/09/03	CALMO	LESTE	CALMO
29/09/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
30/09/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
01/10/03			
02/10/03	FORTE	SUDOESTE	MODERADO
16/10/03	FORTE	SUL	MODERADO
17/10/03	MODERADO	NORDESTE	CALMO
18/10/03	CALMO	SUDOESTE	CALMO
19/10/03	MODERADO	SUL	CALMO
20/10/03	CALMO	LESTE	MODERADO
21/10/03	MODERADO	LESTE	MODERADO
22/10/03	CALMO	SUDOESTE	CALMO
23/10/03	CALMO	LESTE	BRAVO
24/10/03	CALMO	LESTE	MODERADO
25/10/03	CALMO	SUL	MODERADO
26/10/03	CALMO	SUL	CALMO
27/10/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
28/10/03	MODERADO	NORDESTE	MODERADO
06/11/03	CALMO	LESTE	MODERADO
07/11/03	CALMO	OESTE	MODERADO
08/11/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
09/11/03	MODERADO	LESTE	CALMO
10/11/03	CALMO	NORDESTE	CALMO
11/11/03	FORTE	LESTE	MODERADO
12/11/03	CALMO		MODERADO
13/11/03	FORTE	OESTE	BRAVO
14/11/03	MODERADO	LESTE	MODERADO

Continuação...

Data do experimento	Força do vento	Direção do vento	Condição do mar
15/11/03	FORTE	LESTE	BRAVO
16/11/03	FORTE	LESTE	BRAVO
17/11/03	MODERADO	LESTE	BRAVO
18/11/03	FORTE	OESTE	MODERADO
19/11/03	FORTE	OESTE	MODERADO
20/11/03	FORTE	SUDOESTE	MODERADO
27/11/03	CALMO	NORDESTE	MODERADO
28/11/03	CALMO	SUDESTE	CALMO
29/11/03	CALMO	OESTE	CALMO
30/11/03	MODERADO	LESTE	MODERADO
01/12/03	MODERADO	NORDESTE	CALMO
02/12/03	CALMO	SUL	MODERADO
03/12/03	CALMO	LESTE	CALMO
04/12/03	CALMO	SUDOESTE	CALMO
11/02/04	CALMO	LESTE	BRAVO
12/02/04	MODERADO	LESTE	BRAVO
13/02/04	MODERADO	LESTE	MODERADO
14/02/04	FORTE	LESTE	BRAVO
15/02/04	FORTE	SUL	MODERADO
16/02/04	CALMO	NORDESTE	MODERADO
17/02/04	MODERADO	LESTE	MODERADO
18/02/04	CALMO	LESTE	BRAVO
19/02/04	MODERADO	SUL	CALMO
20/02/04	CALMO	SUL	CALMO
21/02/04	FORTE	SUDESTE	CALMO
22/02/04			
24/02/04	MODERADO	SUDESTE	CALMO
25/02/04	CALMO	SUL	CALMO
26/02/04	CALMO	NORDESTE	CALMO
27/02/04	CALMO	NORDESTE	CALMO
28/02/04	CALMO	SUL	CALMO
29/02/04	MODERADO	SUL	CALMO
01/03/04	CALMO	NORDESTE	CALMO
02/03/04	MODERADO	NORDESTE	CALMO
03/03/04	FORTE	SUL	CALMO

ANEXO 2: CAPÍTULO 15. AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE CULTIVO DE *GRACILARIA DOMINGENSIS* (GRACILARIALES, RHODOPHYTA) NA ENSEADA DE ARMAÇÃO DO ITAPOCOROY, PENHA, SC: 211-226. . /N: BRANCO, J. O. & MARENZI, A. W.C. (ORG.). BASES ECOLÓGICAS PARA UM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: ESTUDOS DE CASO EM PENHA, SC. EDITORA DA UNIVALI, ITAJAÍ, SC.

CAPÍTULO 15

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE CULTIVO DA ALGA VERMELHA *GRACILARIA DOMINGENSIS* (GRACILARIALES, RHODOPHYTA) NA ARMAÇÃO DO ITAPOCOROY, PENHA, SC

Cristalina Yoshie Yoshimura^{1,2}; Simone Rabelo Cunha¹; Eurico Cabral de Oliveira²

1- Centro de Ciências da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí. Rua Uruguai, 458. Itajaí, SC, 88.302-202. 2 - Departamento de Botânica, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. Rua do Matão, 277, Cidade Universitária, São Paulo, SP, 05580-970.

ABSTRACT

Macroalgae cultivation is a need nowadays as the production based on natural beds does not attend the growing demand. The integrated cultivation is ecological and economically interesting because it is possible to exploit two resources (animals and macroalgae) and the seawater quality gets better, once the macroalgae act as biofilters, absorbing nutrients released by the animals metabolism. The aim of this work was to test cultivation techniques for *Gracilaria domingensis* (Kützinger) Sonder ex Dickie at Armação do Itapocoroy, where there is a large mussel cultivation ground, comparing cultivation time at two selected sites inside the bay: one inner, close to the mussel cultivation and another one, outer, far from the mussel cultivation. These sites were subject to different environmental conditions. The cultivation rope was a "U" shaped structure, with attached sinkers to an iron bar in order to keep the structure submersed. Thalli were cultivated from 20 to 200 cm depth, during one and two weeks. In the inner site the results showed higher values for Relative Growth Rates (RGR, % day⁻¹) and for Yield (% from the initial biomass) for one (10.58 ± 6.51 % day⁻¹ in Mar/2004 and 65.45 ± 40.73% in Feb/2004, respectively) and two cultivation weeks (20.21 ± 14.61 % day⁻¹ and 113.69 ± 125.14% in Feb/2004, respectively) than at the outer site for one (6.75 ± 3.83 % day⁻¹ in Feb/2004 and 46.26 ± 42.61% in Mar/2004, respectively) and two cultivation weeks (5.98 ± 4.68 % day⁻¹ in Feb/2004 and 27.42 ± 32.20% in Mar/2004, respectively). Despite the variability in the results, a seasonal pattern was not observed. *G. domingensis* presented good cultivation potential, mainly in the inner site, with high RGRs and yields for one and two cultivation weeks. In the outer site,

the results showed that the cultivation is viable only for one cultivation week. In longer cultivation time, the thalli fragmentation is very high, decreasing the cultivation viability for this site.

Key Words: *Gracilaria domingensis*, integrated cultivation, seaweed.

INTRODUÇÃO

Historicamente, o interesse no cultivo de macroalgas iniciou-se após o colapso de bancos naturais, em uma tentativa de manter a exploração deste recurso ecológica e economicamente viável (Norambuena, 1996; Oliveira *et al.*, 2000; Anderson *et al.*, 2001a). Como a demanda por biomassas de macroalgas é crescente e os bancos existentes nem sempre são suficientes para atender ao mercado, os cultivos tornaram-se a alternativa sustentável para suprir esta demanda. O cultivo de macroalgas propicia a produção, em um espaço concentrado, de biomassa de boa qualidade, em conformidade com os padrões exigidos pelo mercado.

Com a crescente demanda de mercado, as macroalgas constituem-se hoje numa importante fonte de renda para vários países, como é o caso do Chile, atualmente o maior produtor mundial de *Gracilaria* cultivada, cuja produção foi de aproximadamente 34.000 toneladas secas entre os anos de 1994 e 1995, cerca de 68% da produção mundial (Zemke-White & Ohno, 1999).

Dados de importações de macroalgas e seus ficocolóides (alginato, agar e carragenana) no ano de 1994 mostram que o Brasil importou aproximadamente 1.029 toneladas a um valor de US\$ 13 milhões. A quantidade de ágar importada foi de 48 toneladas a um preço médio de US\$ 27 kg⁻¹ (Oliveira, 1998). No Brasil, a única empresa que produz ágar está localizada no estado da Paraíba, com uma produção mensal de aproximadamente 7 toneladas de ágar do tipo alimentício, vendido no mercado interno ao preço médio de US\$ 25 kg⁻¹. Para isso, a empresa processa cerca de 80 toneladas de algas secas, coletadas principalmente em bancos naturais localizados no litoral do Ceará (Oliveira & Miranda, 1998).

Segundo Oliveira e Miranda (1998), não há indícios de sobre-exploração em bancos de macroalgas do nordeste brasileiro. Apesar disso, a única

empresa que explora este recurso no litoral nordestino, localizada na Paraíba, processa algas coletadas no Ceará, indicando talvez, a sobre-exploração dos bancos localizados na Paraíba.

Cultivos comerciais de macroalgas ainda não existem no Brasil. Experimentos de cultivos em escala piloto foram realizados ou se encontram em andamento (Câmara Neto, 1987, Berchez & Oliveira, 1990, Teixeira *et al.*, 2002. Yoshimura *et al.* (no prelo)), visando a melhoria na qualidade de vida de comunidades pesqueiras, que vêem no cultivo de macroalgas uma fonte alternativa de renda (Accioly, 2004).

Para se lograr sucesso na atividade de cultivo de macroalgas, algumas perguntas devem ser respondidas antes do início de um cultivo em escala comercial. O primeiro aspecto é bastante óbvio, que é a demanda por uma espécie. Outro aspecto chave é a existência de bancos naturais próximos aos locais onde se pretende introduzir o cultivo, o que pode viabilizá-lo, pelo menos em curto prazo. O terceiro aspecto é a avaliação do local onde se pretende realizar as atividades de cultivo, que deve ter condições físicas e hidrológicas adequadas, como por exemplo, proteção de ventos e ressacas e boa circulação de água. Além disso, a existência de uma comunidade que tenha vocação para lidar com maricultura é importante, uma vez que o fator humano muitas vezes pode inviabilizar esta atividade. Finalmente, depois de todos estes aspectos serem avaliados, a tecnologia do cultivo deverá ser investigada. Assim, a forma como as mudas serão presas às cordas de cultivo, em que tipo de corda, em que profundidade a espécie pode ser cultivada naquele local, quais as épocas são mais favoráveis e quais podem ser desfavoráveis ao cultivo são aspectos que devem ser avaliados para a implantação do cultivo de algas.

Além do enfoque de tecnologia de produção, uma outra questão importante a ser considerada é a preservação dos bancos naturais existentes, de modo que o cultivo não leve à sua depleção. Desta forma, o desenvolvimento de técnicas adequadas de cultivo pode se constituir numa importante ferramenta para a manutenção dos estoques naturais.

Um problema enfrentado nas áreas de cultivos intensivos de moluscos, crustáceos ou peixes é a grande concentração de indivíduos, o que aumenta os riscos de eutrofização, devido ao excesso de nutrientes na coluna d'água,

resultantes do metabolismo destes organismos cultivados (Costa-Pierce, 1996). Além das conseqüências diretas da eutrofização, existe o risco de ocorrência de florações, que podem ser de macro ou de microalgas. No caso das macroalgas, estas florações podem ocasionar problemas relacionados ao turismo e à navegação, enquanto que no caso das microalgas, as florações podem ser de espécies potencialmente tóxicas, acarretando em prejuízos ainda maiores à atividade de maricultura. O cultivo de macroalgas pode se constituir em uma importante ferramenta de controle da eutrofização, pois podem atuar como eficientes biofiltros, retirando da coluna d'água parte destes compostos nitrogenados liberados pelos animais cultivados (Nelson *et al.*, 2001), diminuindo a possibilidade de ocorrência de florações indesejáveis. Em locais com grande disponibilidade de nutrientes, como nas áreas de cultivo de animais, as macroalgas, além de contribuir para a melhoria da qualidade ambiental, geralmente apresentam elevadas taxas de crescimento (Chow *et al.*, 2001; Nelson *et al.*, 2001) e altos rendimentos de ágar (Troell *et al.*, 1997).

O município de Penha, onde se localiza a Armação do Itapocoroy, possui um dos maiores parques de cultivo de moluscos marinhos de Santa Catarina, especialmente do mexilhão *Perna perna* e no ano de 2002 foi responsável pela produção de 31% do total de mexilhões cultivados no estado, cuja produção foi de 8.641 toneladas (Radaelli, I. S., EPAGRI, com. pess., 2004).

Uma grande quantidade de macroalgas arribadas é observada nas praias da enseada de Armação do Itapocoroy, formando em algumas épocas, tapetes de 30 cm de altura. Esta biomassa acaba apodrecendo, constituindo-se em um problema para o município, uma vez que existem gastos relacionados à coleta desta biomassa nas praias e, além disso, algumas destas praias são visitadas por turistas. Segundo Morand & Briand (1996), o crescimento excessivo de macroalgas pode ser uma resposta em ambientes eutrofizados e em geral as espécies associadas a estes eventos são oportunistas, de crescimento rápido e em geral, foliáceas. Como solução para este problema, Merrill (1996) propõe que em locais onde estes eventos de acúmulo de macroalgas nas praias ocorrem repetidamente, se cultive espécies de valor econômico, diminuindo a probabilidade de proliferação de outras espécies de

macroalgas sem valor econômico e desta forma, a eutrofização, que em princípio seria um problema, torna-se um aliado nos cultivos de macroalgas.

A espécie *Gracilaria domingensis* (Kützinger) Sonder ex Dickie (Oliveira, 1977) é uma macroalga utilizada diretamente como alimento humano (Oliveira, 1998) e também como fonte de ágar (Durairatnam *et al.*, 1990), um polissacarídeo amplamente utilizado na indústria alimentícia como agente gelificante. Além do apelo econômico, esta macroalga ocorre na enseada da Armação do Itapocoroy (Cunha *et al.*, 1999), indicando que a espécie é bem adaptada ao local, o que sugere um bom potencial para cultivo.

É neste cenário que o cultivo de macroalgas na Armação do Itapocoroy apresenta-se como uma questão de interesse, uma vez que, além da presença de *G. domingensis* na área, do grande parque de cultivo de moluscos marinhos ainda em expansão e da existência da aptidão natural da comunidade para lidar com a maricultura, o cultivo de macroalgas pode contribuir para a melhoria da qualidade ambiental neste local, e também constituir em uma fonte de renda extra aos maricultores. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a viabilidade de cultivo de *G. domingensis* na Armação do Itapocoroy e como objetivos específicos, comparar sazonalmente o crescimento e o rendimento em biomassa em dois locais com diferentes características físicas e hidrológicas, por períodos de uma e duas semanas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos de cultivo basearam-se na propagação vegetativa, uma vez que este deve ser o primeiro método a ser testado. A partir desta avaliação será possível verificar a viabilidade do cultivo desta espécie.

Os experimentos de cultivo foram realizados em dois locais na enseada de Armação do Itapocoroy. O mais interno, denominado “Dentro”, localizou-se mais próximo da costa e dos cultivos dos mexilhões, em um local abrigado de ventos e ondulações mais fortes. O mais externo, denominado “Fora”, localizou-se mais afastado da costa e dos cultivos de mexilhões, sendo esta área mais sujeita às variações na ondulação e nas condições de vento. Os

experimentos foram realizados em maio, julho, agosto e novembro de 2003 e em fevereiro e março de 2004.

Para avaliar as taxas de crescimento relativo e o rendimento percentual, foram coletados talos de *G. domingensis*, saudáveis e sem cistocarpos. Estes talos foram triados para retirada de epibiontes e epífitas, numerados, secos com papel toalha, pesados e presos às cordas de cultivo.

As cordas de cultivo consistiram de estruturas em “U”, com uma barra de ferro e chumbos afixados horizontalmente na porção inferior, de modo que a estrutura se mantivesse verticalmente mergulhada na água (Fig. 1). O cultivo foi realizado de 20 a 200 cm de profundidade, procurando-se desta forma utilizar ao máximo a coluna d’água. O espaçamento no *long line* entre as cordas de cultivo foi de 50 cm. Os talos foram inseridos na trama das cordas de cultivo, com espaçamento de 10 ou 20 cm entre eles e mantidos no mar por uma ou duas semanas. Após o período de cultivo, as plantas foram retiradas, limpas, secas e pesadas individualmente.

A partir dos valores obtidos, calculou-se as taxas de crescimento relativo (TCR, % dia⁻¹) e os rendimentos percentuais por semana, em termos de ganho de biomassa (% , em relação à biomassa inicial) para cada talo.

O rendimento em biomassa é apresentado de duas formas: o primeiro, chamado de *rendimento obtido* foi calculado levando-se em consideração todos os talos cultivados, inclusive aqueles que apresentaram diminuição no peso. Desta forma, os valores de *rendimento obtido* podem ser positivos ou negativos, dependendo da perda ou ganho de biomassa durante o tempo de cultivo. O segundo, chamado de *rendimento potencial*, foi calculado excluindo-se aquelas plantas que apresentaram diminuição na biomassa durante o período de cultivo. Tanto os *rendimentos obtidos* como os *rendimentos potenciais* foram apresentados como percentual em relação à biomassa inicial.

As taxas de crescimento relativo (TCR) foram calculadas como porcentagem diária de crescimento utilizando-se a fórmula de crescimento linear (Dawes, 1998): $TCR (\% \text{ dia}^{-1}) = ((P_f - P_i) / P_i) \times 100/t$, onde P_i = peso inicial, P_f = peso final, t = intervalo de tempo em dias. As taxas de crescimento foram calculadas com base nas plantas que apresentaram incremento em biomassa durante o período de cultivo, e por isto, referem-se a taxas potenciais de crescimento das plantas.

As comparações das taxas de crescimento e rendimento em biomassa foram efetuadas utilizando-se análise de variância.

Figura 1: A estrutura de cultivo utilizada, consistindo de uma corda com uma barra de ferro e chumbos afixados horizontalmente na porção inferior, para manter a estrutura mergulhada. Estas estruturas foram amarradas no *long line*, com espaçamento de 50 cm entre cada uma.

RESULTADOS

Dentro da enseada, as taxas de crescimento relativo variaram entre $4,59 \pm 2,58 \text{ \% dia}^{-1}$ (julho/03) e $10,58 \pm 6,51 \text{ \% dia}^{-1}$ (março/04) para plantas cultivadas durante uma semana e entre $4,57 \pm 3,15 \text{ \% dia}^{-1}$ (julho/03) e $20,21 \pm 14,61 \text{ \% dia}^{-1}$ (fevereiro/04) para plantas cultivadas durante duas semanas (Fig.2). Fora da enseada, os valores variaram entre $3,32 \pm 2,58 \text{ \% dia}^{-1}$ (agosto/03) e $6,75 \pm 3,83 \text{ \% dia}^{-1}$ (fevereiro/04) para algas cultivadas por uma semana e entre $2,75 \pm 2,17 \text{ \% dia}^{-1}$ (maio/03) e $5,98 \pm 4,68 \text{ \% dia}^{-1}$ (fevereiro/04) para algas cultivadas por duas semanas (Fig.3). As plantas cultivadas dentro da enseada apresentaram maiores valores de taxas de crescimento em todos os experimentos realizados, sendo que as plantas coletadas após uma semana de cultivo, em geral, apresentaram maiores taxas do que as coletadas após duas semanas de cultivo. Apesar das diferenças apresentadas, não foi possível observar um padrão sazonal e por isto, dados de fatores ambientais, como temperatura, salinidade e transparência e dados

químicos, como quantificação de compostos nitrogenados, não foram utilizados para correlacionar com os dados obtidos.

Figura 2: Taxas de crescimento relativo (TCR, média $\pm$ desvio padrão) para plantas cultivadas dentro da enseada em diferentes intervalos de cultivo, em diferentes épocas do ano. (A) Uma semana; (B) Duas semanas.

Figura 3: Taxas de crescimento relativo (TCR, média $\pm$ desvio padrão) para plantas cultivadas fora da enseada em diferentes intervalos de cultivo, em diferentes épocas do ano. (A) Uma semana; (B) Duas semanas.

O rendimento obtido (% por semana, em relação à biomassa inicial) dentro da enseada variou entre $11,76 \pm 55,28$ % (novembro/03) e $65,45 \pm 40,73$ % (fevereiro/04) para plantas cultivadas durante uma semana e entre $1,34 \pm 48,07$ % (março/04) e $113,69 \pm 125,14$ % (fevereiro/04) para plantas cultivadas durante duas semanas (Fig. 4). As plantas cultivadas por uma

semana fora da enseada apresentaram desde perdas de $15,75 \pm 38,28\%$ (maio/03) até ganhos de $46,26 \pm 42,61 \%$ (março/04). Quando cultivadas por duas semanas neste local, as algas apresentaram desde perdas de $22,04 \pm 22,78 \%$ (maio/03) até ganhos de $27,42 \pm 32,20 \%$ (março/04) para o intervalo de cultivo de duas semanas (Fig. 5).

Figura 4: Rendimento obtido em biomassa (% , média $\pm$ desvio padrão) para plantas cultivadas dentro da enseada em diferentes intervalos de cultivo, em diferentes épocas do ano. (A) Uma semana; (B) Duas semanas.

Comparando-se o percentual de plantas que apresentou aumento de biomassa dentro e fora da enseada (Tab. 1), foi observado um maior percentual de plantas cultivadas com aumento de biomassa dentro da enseada, o que indicou que o local mais protegido é mais adequado ao cultivo desta espécie. Quando a comparação é feita entre os períodos de cultivo, o intervalo de cultivo de uma semana mostrou percentuais mais altos de plantas com aumento de biomassa, indicando que cultivos neste intervalo de tempo produzem maior biomassa, sendo desta forma, mais rentáveis.

Figura 5: Rendimento obtido em biomassa (% , média $\pm$ desvio padrão) para plantas cultivadas fora da enseada em diferentes intervalos de cultivo, em diferentes épocas do ano. (A) Uma semana; (B) Duas semanas.

Tabela 1: Percentual de plantas que apresentaram incremento em biomassa nos experimentos realizados, de acordo com o tempo de cultivo, dentro e fora da enseada.

Data dos experimentos	Dentro 1 semana	Dentro 2 semanas	Fora 1 semana	Fora 2 semanas
Maio/03	96,7	70	45	15
Julho/03	73,3	80	-	-
Agosto/03	-	-	73,3	35
Novembro/03	65	3,33	70	16,7
Fevereiro/04	93,7	87,7	89,5	24,6
Março/04	75,4	37,7	87,7	82,5

Quando foram excluídas da análise as plantas que apresentaram perda de biomassa, o *rendimento potencial* (por semana) foi calculado. Os valores dentro da enseada variaram entre $27,54 \pm 15,48$ % (julho/03) e $84,65 \pm 52,10$ % (março/04) para mudas cultivadas durante uma semana e entre $29,73 \pm 20,46$ % (julho/03) e $134,19 \pm 119,83$ % (fevereiro/04) para plantas cultivadas durante duas semanas (Fig. 6). Fora da enseada os valores variaram entre $16,87 \pm 12,88$ % (maio/03) e $56,96 \pm 31,70$ % (março/04) para talos cultivados por uma semana e entre $16,53 \pm 13$ % (maio/03) e $44,86 \pm 35,13$ % (fevereiro/04) para plantas cultivadas durante duas semanas (Fig. 7).

Figura 6: Rendimento potencial em biomassa (% , média $\pm$ desvio padrão) para plantas cultivadas dentro da enseada em diferentes intervalos de cultivo, em diferentes épocas do ano. (A) Uma semana; (B) Duas semanas.

Figura 7: Rendimento potencial em biomassa (% , média $\pm$ desvio padrão) para plantas cultivadas fora da enseada em diferentes intervalos de cultivo, em diferentes épocas do ano. (A) Uma semana; (B) Duas semanas.

DISCUSSÃO

A macroalga *Gracilaria domingensis* apresentou um bom potencial de cultivo no sistema testado para o local mais abrigado, com elevadas taxas de crescimento e alto rendimento em biomassa nos intervalos de cultivo testados. Fora da enseada, o cultivo se mostrou viável somente para uma semana de cultivo, pois em intervalos de cultivo mais longos a fragmentação dos talos, devido a hidrodinâmica, compromete a viabilidade do cultivo.

Houve grande variabilidade tanto nas taxas de crescimento quanto nos rendimentos em biomassa dentro de um mesmo experimento. Isto provavelmente se deveu à fragmentação ou mesmo à perda de talos inteiros durante os experimentos, principalmente quando as condições meteorológicas não foram favoráveis à sua manutenção nas cordas de cultivo. Por este fato, ao se cultivar esta espécie, é interessante que o maricultor tenha especial atenção às condições do tempo, principalmente se o cultivo for realizado nas áreas mais externas da enseada, onde condições de maior hidrodinâmica podem acarretar em maiores perdas de biomassa.

A ausência de um padrão sazonal nas taxas de crescimento e nos rendimentos em biomassa sugere que o cultivo de *G. domingensis* pode ser realizado em qualquer época do ano na Armação do Itapocoroy. *G. gracilis* cultivada em sistemas abertos na África do Sul (Anderson *et al.* 1996; Anderson *et al.* 2001b) também apresentou ausência de um padrão sazonal nas taxas de crescimento (3 a 10 % dia⁻¹), o que pode indicar uma ausência de padrão sazonal de crescimento para este gênero. Entretanto, esta ausência de padrão pode também ser consequência da fragmentação dos talos ou mesmo a perda de talos inteiros, interferindo fortemente nos resultados, impedindo a observação da sazonalidade. Por exemplo, *G. chilensis* cultivada em uma região estuarina, mostrou crescimento mais elevado durante o verão (2,5 a 5,2 % dia⁻¹) e menor durante o inverno (0,6 a 1 % dia⁻¹) (Santelices *et al.* 1993). Estes resultados mostram que em locais mais protegidos, onde a hidrodinâmica não é um fator limitante na produção de biomassa, é possível observar um padrão sazonal.

Os rendimentos em biomassa para algas cultivadas por uma semana, com exceção do experimento realizado em maio/03 fora da enseada, tanto dentro como fora da enseada, mostraram valores positivos de *Rendimento obtido*, apesar dos valores observados fora da enseada em geral serem mais baixos do que os observados dentro da enseada. Por outro lado, os *Rendimentos obtidos* para duas semanas de cultivo foram na maioria dos casos negativos nos experimentos realizados fora da enseada, enquanto que dentro da enseada os valores sempre foram positivos, o que mostrou o baixo potencial para o cultivo de *G. domingensis*, fora da enseada em intervalos de tempo mais longos. Os resultados obtidos fora da enseada provavelmente são

reflexos da sua localização, pois este local está mais sujeito às influências de ressacas e ondulações mais fortes, o que resultou em uma maior quebra de talos.

Como já foi mencionado, os *Rendimentos obtidos* dentro da enseada foram sempre positivos, mesmo em condições adversas de hidrodinâmica, quando muitos talos fragmentaram, o que mostra que neste local a produção em biomassa é grande, suficiente para compensar tais perdas. A produtividade neste local fica ainda mais evidente quando se observa o *Rendimento potencial* (excluindo-se as algas que apresentaram perda de biomassa), mostrando o quanto este sistema pode ser ainda mais produtivo caso as quebras de talos sejam minimizadas. Ao contrário do observado fora da enseada, o intervalo de cultivo de duas semanas também mostrou ser produtivo dentro da enseada, mesmo considerando que um maior percentual de plantas apresentou perda de biomassa do que no intervalo de uma semana de cultivo.

As TCRs obtidas no presente trabalho (4,6 a 20,2 % dia⁻¹) são comparáveis às obtidas em outros locais e outros tipos de sistemas de cultivos, considerados produtivos (Quadro 1. Em um sistema similar ao testado no presente trabalho, Anderson *et al.* (2001b) observaram valores muito variáveis e em alguns casos, valores mais baixos do que os observados por nós. Ao cultivar *G. chilensis* em estuário, Santelices *et al.* (1993) observaram valores mais baixos, enquanto que *G. parvispora* cultivada em um sistema de policultivo mostrou valores similares aos observados no presente trabalho, demonstrando que o potencial de cultivo de *G. domingensis* na Armação do Itapocoroy é grande, já que *G. chilensis* foi cultivada em área de estuário, onde a quebra provocada pelo hidrodinamismo é menor do que a observada no presente trabalho e *G. parvispora* foi cultivada em um sistema de policultivo, otimizando as condições de cultivo com as habilidades fisiológicas da espécie.

Quadro 1: Taxas de crescimento relativo (TCR) obtidas para diferentes espécies de *Gracilaria* cultivadas com diferentes técnicas.

Espécie	Técnica de cultivo	País	TCR (% dia ⁻¹)
<i>G. domingensis</i> ¹	Mar aberto, vertical	Brasil	4,6 a 20,2
<i>G. gracilis</i> ²	Mar aberto, vertical	África do Sul	1 a 10
<i>G. gracilis</i> ³	Baía, horizontal	Namíbia	0.84 a 4.15
<i>G. cornea</i> ⁴	Baía, horizontal	Venezuela	1.4 a 2.5
<i>G. chilensis</i> ⁵	Estuário, horizontal	Chile	1,8 a 4,6
<i>G. tenuistipitata</i> ⁶	Piscinas, tanque rede	China	1,5 a 3,3
<i>G. parvispora</i> ⁷	Laguna, tanque rede (policultivo)	Havaí	4,6 a 10,4

¹Presente trabalho; ²Anderson *et al.*, 2001b; ³Dawes, 1995; ⁴Rincones Leon, 1989; ⁵Santelices *et al.*, 1993; ⁶Chaoyuan *et al.*, 1993; ⁷Nelson *et al.*, 2001.

Dentro da enseada, na maioria dos experimentos realizados, e fora da enseada, em poucas ocasiões, foram observados talos esbranquiçados, com perda de pigmentação especialmente nas regiões apicais. Segundo Correa (1996), este fato pode estar associado a substâncias muito oxidantes produzidas pelas próprias algas em resposta a estresse fisiológico. Ainda segundo o autor, no caso de doenças causadas por ataques de bactérias ou fungos, não é possível saber se a ausência da doença é dada por mecanismos de defesa da macroalga ou pela falta de patogenicidade no patógeno. Este aspecto seria importante no caso de cultivo de uma espécie, pois indivíduos resistentes a estes ataques poderiam ser selecionados e desta forma, diminuir a probabilidade de ocorrência destas doenças.

Entretanto, como no momento da coleta nos bancos naturais, tomou-se cuidado para escolher somente plantas saudáveis para iniciar os experimentos, muito provavelmente o branqueamento observado deve-se a respostas fisiológicas de estresse das plantas cultivadas dentro da enseada. Apesar das plantas cultivadas fora da enseada terem apresentado menor crescimento e rendimento em biomassa, neste local, poucas plantas foram observadas com sinais de branqueamento, sugerindo que algum fator desencadeia esta reação nas plantas cultivadas dentro da enseada.

Os experimentos realizados mostraram ainda que epífitas e epibiontes ocorrem ao longo de todas as estações do ano, entretanto, algumas observações podem ser salientadas. Em intervalo de cultivo de uma semana, em geral observou-se somente a presença de um filme de diatomáceas e cianobactérias, um pequeno acúmulo de sedimento e uns poucos talos de

Polysiphonia sp. Somente em uma ocasião foi observado um talo de *Ulva* sp., em contraponto ao que é amplamente observado em outros locais, onde *Ulva* sp. parece ser uma das epífitas mais comuns nos cultivos de *Gracilaria* (Buschmann & Gómez, 1993, Svirski *et al.*, 1993). Em intervalos de cultivo mais longos que uma semana, a presença e a abundância de *Polysiphonia* sp. é cada vez maior, especialmente nas profundidades menores, enquanto que duas espécies de hidrozoários ocorrem em abundâncias variáveis, principalmente nas maiores profundidades.

Com relação ao tempo de cultivo, constatou-se que quanto mais longo é o intervalo, maior é a presença de epífitas e epibiontes. Se associado a este problema soma-se a maior probabilidade de fragmentação de talos em intervalos mais longos, conclui-se que para *G. domingensis* cultivada na Armação do Itapocoroy, o tempo de cultivo não deverá ultrapassar 2 semanas, com a utilização das técnicas testadas no presente trabalho, uma vez que a produtividade é maior e a qualidade da biomassa produzida é melhor. Conhecer os mecanismos envolvidos na interação epífita/epibionte-alga é importante para melhorar a capacidade de manejo pelos maricultores, já que estes organismos podem afetar significativamente a produção de espécies cultivadas, como sugerido por Buschmann & Gómez (1993).

Uma importante estratégia para otimizar o cultivo é a seleção de linhagens. No cultivo em campo é possível selecionar plantas com as características desejadas, que podem ser altas taxas de crescimento, baixo grau de epifitismo, resistência ao branqueamento, entre outras características. Estas plantas podem ser propagadas vegetativamente nos cultivos, como foi feito no presente trabalho, gerando uma biomassa importante, a qual pode também ser utilizada para cultivos a partir de esporos, que é outra estratégia utilizada para otimizar um cultivo (Alveal *et al.* 1997).

Entretanto, a etapa de seleção de linhagens deve ser implementada somente quando os cultivos já estiverem implantados, uma vez que a manutenção das plantas saudáveis e viáveis em condições de laboratório é mais difícil e a propagação e a resposta das plantas em campo é mais simples e rápida.

É importante que se utilize *long lines* separados para o cultivo de *G. domingensis* e de mexilhões, pois o manejo dos *long lines* de mexilhões pode

acarretar na quebra das mudas de *G. domingensis*, diminuindo a produtividade do cultivo da macroalga. Além disso, conforme os mexilhões crescem, as mangas ficam mais pesadas, afundando a estrutura de cultivo. Como os resultados anteriores mostraram que *G. domingensis* cresce bem em até 2m de profundidade (Yoshimura *et al*, 2004), é importante que as cordas de cultivo fiquem mais próximas à superfície, já que como organismos fotossintetizantes, a produtividade das macroalgas depende da irradiância. Entretanto, a proximidade com o cultivo de mexilhões é interessante para o cultivo de *G. domingensis* pela disponibilidade dos nutrientes, e desta forma um sistema de cultivo onde macroalga e mexilhão sejam cultivados em estruturas diferentes em um mesmo local parece ser o mais indicado.

Como foi mencionado, outras espécies de interesse econômico ocorrem no local e experimentos de cultivo podem ser realizados com as mesmas técnicas deste trabalho ou com técnicas diferentes, a fim de se avaliar sua viabilidade.

CONCLUSÕES

- *G. domingensis* pode ser cultivada durante todo o ano na Armação do Itapocoroy, tanto dentro como fora da enseada.
- Os talos de *G. domingensis* podem ser cultivados de 20 a 200 cm de profundidade.
- O cultivo pode ser realizado com duração de uma e duas semanas de cultivo dentro da enseada.
- O cultivo fora da enseada é viável somente com duração de uma semana, pois com duração maior a fragmentação causada pela hidrodinâmica é muito intensa.
- Quanto maior o intervalo de cultivo, maior é a probabilidade de quebra dos talos e a presença de epibiontes e epífitas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CTTMar, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar da UNIVALI e ao Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, pela estrutura disponibilizada para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accioly, M. C. 2004. *Desenvolvimento da maricultura artesanal de macroalgas no Baixo-Sul Bahiano*. Tese de doutorado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 164 pp.
- Alveal, K.; Romo, H.; Werlinger, C. & Oliveira, E. C. 1997. Mass cultivation of the agar-producing alga *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta) from spores. *Aquaculture* 148: 77-83.
- Anderson, R. J., Levitt, G. J. & Share, A. 1996. Experimental investigations for the mariculture of *Gracilaria gracilis* in Saldanha Bay, South Africa. *J. Appl. Phycol.* 8: 421-430.
- Anderson, R. J., Bolton, J. J., Molloy, F. J. & Rotmann, K. W. G. 2001a. Commercial seaweeds in southern Africa. *In: Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium*, Cape Town. (A. R. O. Chapman, R. J. Anderson, V. J. Vreeland & I. R. Davison, eds). Oxford University Press: 1-13.
- Anderson, R. J., Boothroyd, C. J. T., Kemp, F. A. & Rothman, M. D. 2001b. Open-water cultivation of *Gracilaria* in South Africa: Saldanha Bay or St Helena Bay? *In: Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium*, Cape Town. (A. R. O. Chapman, R. J. Anderson, V. J. Vreeland & I. R. Davison, eds). Oxford University Press: 35-40.
- Berchez, F. A. S. & Oliveira, E. C. 1990. Maricultural essays with the carrageenophyte *Hypnea musciformis* (Rhodophyta, Gigartinales) in São Paulo. *In: Cultivation of seaweeds in Latin America*. (E. C. Oliveira & N. Kautsky, eds). São Paulo, EDUSP: 89-94.
- Buschmann, A. H. & Gómez, P. 1993. Interaction mechanisms between *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta) and epiphytes. *Hydrobiologia* 260/261: 345-351.
- Câmara Neto, C. 1987. Seaweed culture in Rio Grande do Norte. *Hydrobiologia* 151/152: 363-367.
- Chaoyuan, w., Li, R., Lin, G., Wen, Z., Dong, L., Zhang, J., Huang, X., Wei, S. & Lan, G. 1993. Some aspects of the growth of *Gracilaria tenuistipitata* in pond culture. *Hydrobiologia* 260/261: 339-343.
- Chow, F., Macchiavello, J., Cruz, S. E., Fonck, E. & Olivares, J. 2001. Utilization of *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta: Gracilariaceae) as a biofilter in the depuration of effluents from tank cultures of fish, oysters and sea urchins. *J. World Aquaculture Society* 32 (2): 215-220.
- Correa, J. A. 1996. Diseases in seaweeds: an introduction. *Hydrobiologia* 326/327: 87-88.
- Costa-Pierce, B. 1996. Environmental impacts of nutrients from aquaculture systems. *In: Aquaculture and water resource management* (D. Baird, M. Beveridge, L. Kelly, J. Muir, eds). Blackwell, Oxford: 81-113.
- Cunha, S. R., Pazeto, F. D., Crestani, D. E. V., Lima, G. B., Nascimento, J., Sant'Anna, F., Manzoni, G. C., Marenzi, A. W. C. & Mafra Jr, L. L. 1999. Potencial de crescimento de macroalgas cultiváveis presentes na Enseada de Armação do Itapocoroy (Penha, SC): avaliação preliminar. *Notas Técnicas da FACIMAR* 3: 17-25.

- Dawes, C. P. 1995. Suspended cultivation of *Gracilaria* in the sea. *J. Appl. Phycol.* 7: 303-313.
- Dawes, C. J. 1998. Marine Botany. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York. 480 pp.
- Durairatnam, M., Medeiros, T. M. B. & Sena, A. M. 1990. Studies on the yield and gel strength of agar from *Gracilaria domingensis* Sonder ex Kuetzing (Gracilariales, Rhodophyta) following the addition of calcium. *Hydrobiologia* 204/205: 551-553.
- Merrill, J. E. 1996. Aquaculture methods for use in managing eutrophicated waters. In: Marine Benthic Vegetation (Schram & Nienhuis, eds). Ecological Studies, vol. 123. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg: 115-128.
- Morand, P. & Briand, X. 1993. Excessive growth of macroalgae: a symptom of environmental disturbance. *Bot. Mar.* 39: 491-561.
- Nelson, S. G., Glenn, E. P., Conn, J., Moore, D., Walsh, T. & Akutagawa, M. 2001. Cultivation of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in shrimp-farm effluent ditches and floating cages in Hawaii: a two-phase polyculture system. *Aquaculture* 193: 239-248.
- Norambuena, R. 1996. Recent trends of seaweed production in Chile. *Hydrobiologia* 326/327: 371-379.
- Oliveira, E. C. 1977. *Algas marinhas bentônicas do Brasil*. Tese de Livre-docência. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Oliveira, E. C. 1998. The seaweed resources of Brazil. In: Seaweeds resources of the world (A. T. Critchley & M. Ohno, eds), Japan International Cooperation Agency, Yokosuka: 366-371.
- Oliveira, E. C. & Miranda, G. E. C. 1998. Aspectos sociais e econômicos da exploração de algas marinhas no Brasil. In: Anais do IV Congresso Latino-Americano. (E. J. Paula, M. Cordeiro-Marino, D. P. Santos, E. M. Plastino, M. T. Fujii & N. S. Yokoya, eds). São Paulo: Sociedade Ficológica da América Latina e Caribe, v. II: 149-156.
- Oliveira, E. C., Alveal, K. & Anderson, R. J. 2000. Mariculture of the agar-producing gracilarioid red algae. *Reviews in Fisheries Science* 8(4): 345-377.
- Rincones Leon, R. E. 1989. Experimental cultivation of an agarophyte alga: *Gracilaria cornea* in the Northwest coast of Venezuela. In: Workshop - Cultivation of seaweeds in Latin America, Univ. S. Paulo/ Int. Foundation for Science, São Paulo, 65-67.
- Santelices, B., Westermeier, R. & Bobadilha, M. 1993. Effects of stock loading and plant distance on the growth and production of *Gracilaria chilensis* in rope culture. *J. App. Phycol.* 5: 517-524.
- Svirski, E., Beer, S. & Friedlander, M. 1993. *Gracilaria conferta* and its epiphytes: (2) Interrelationship between the red seaweed and *Ulva* cf. *lactuca*. *Hydrobiologia* 260/261: 391-396.
- Teixeira, D. I. A., Bezerra, C. A. B., Chaves, R., V. O., Masih Neto, T. & Souza, B. W. S. 2002. Cultivo da alga marinha *Gracilaria* sp. nas praias de Flecheiras e Guagiru – Ceará – Brasil. In: Anais da IX Reunião Brasileira de Ficologia: 95.
- Troell, M., Halling, C., Nilsson, A., Buschmann, A. H., Kautsky, N. & Kautsky, L. 1997. Integrated marine cultivation of *Gracilaria chilensis* (Gracilariales, Rhodophyta) and salmon cages for reduced environmental impact and increased economic output. *Aquaculture* 156: 45-61.
- Yoshimura, C. Y., Cunha, S. R. & Oliveira, E. C. 2004 (no prelo). Testing open-water cultivation techniques for *Gracilaria domingensis* (Rhodophyta, Gracilariales) in Santa Catarina, Brazil. *Journal of Coastal Research* SI 39.
- Zemke-White, W. L. & Ohno, M. 1999. World seaweed utilisation: an end-of-century summary. *J. Appl. Phycol.* 11: 369-376.

ANEXO 3: TESTING OPEN-WATER CULTIVATION TECHNIQUES FOR *GRACILARIA DOMINGENSIS* (RHODOPHYTA, GRACILARIALES) IN SANTA CATARINA, BRAZIL. J. COASTAL RESEARCH (NO PRELO)

Testing open-water cultivation techniques for *Gracilaria domingensis* (Rhodophyta, Gracilariales) in Santa Catarina, Brazil

YOSHIMURA, C. Y.; CUNHA, S. R. and OLIVEIRA, E. C. 2003. Testing open-water cultivation techniques for *Gracilaria domingensis* (Rhodophyta, Gracilariales) in Santa Catarina, Brazil. Journal of Coastal Research, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), pg – pg. Itajaí, SC – Brazil, ISSN 0749-0208

The aim of this work was to develop field techniques to cultivate *Gracilaria domingensis*, a red algae that has been used as food, feed for marine animals and especially for agar production, in association with mussel cultivation. The experiments were done at Armação do Itapocoroy Bay, Penha, Santa Catarina State, Brazil, where there is an extensive commercial mariculture of the mussel *Perna perna*. The rationale behind this work is that the production of this seaweed, besides constituting an additional cash-crop for the fishermen that farm mussels, would also contribute to improve the water quality by absorbing excess nutrients, mainly nitrogen and phosphorous compounds, released by the mollusks. Different systems to attach seaweed pieces to suspended ropes placed within the mussel farms were tested. Depth, growth period and location, inside and outside the bay, were also tested. Production was assessed through weight variation every week for four weeks. Results indicated that *G. domingensis* growth rates may be considered high in comparison with other red seaweed cultivated elsewhere, reaching up to 10 % day⁻¹. It was concluded that the cultivation of *G. domingensis* is technically feasible in the mussel cultivation grounds inside and outside the bay, using the first two meters depth, inserting plants into the strand of the rope, and harvesting is more productive if made at intervals not longer than 15 days, although its economic viability is pending on further studies.

ADDITIONAL INDEX WORDS: *Gracilaria domingensis*, open-water cultivation, vertical cultivation, Brazil

Introduction

Gracilaria species are utilized as human food in Japan (Ohmi, 1958), Hawaii (Hoyle, 1978; Abbott, 1988) and in the Philippines, and they are also used to feed marine cultivated animals (e.g. abalone) in Taiwan (Chiang, 1981) and Israel (Neori *et al.*, 1998). However, its major economic importance is as a source of agar (Oliveira *et al.*, 2000). As the natural beds of *Gracilaria* and other commercial agarophytes, namely *Pterocladia*, *Pterocladia* and *Gelidium* are limited and in some cases overexploited, cultivation is the only alternative to supply a growing demand and sustainable production (Oliveira *et al.*, 2000).

Integrated cultivation of macroalgae and mollusks, fishes or shrimps is being attempted in several places (Buschmann *et al.*, 1996; Chopin *et al.*, 1999; Chow *et al.*, 2001; Ellner *et al.*, 1996; Krom *et al.*, 1995; Neori, 1996; Neori *et al.*, 1996; Neori *et al.*, 1998; Qian *et al.*, 1996). In these systems, excess feed animal excrements produce a great quantity of dissolved nutrients that can cause eutrophication and degradation of the environment. It is well known that macroalgae act as biofilters, absorbing nitrogen and phosphorous compounds, and improving the water quality. On the other hand, because of the high nutrients availability in animal cultivation grounds, macroalgae present high growth rates.

The farming of the mussel *Perna perna* reached a significant scale in Santa Catarina State, amounting to about US\$ 1.5 millions per year (Poli & Littlepage, 1998). Mussel farming is also very important socially in Santa Catarina, where over 700 farms are in activity having produced 8,641 ton in 2002 (G. Manzoni, pers. comm., 2003). However, this accelerated growth has been a cause for concern, since there are indications that the production has exceeded the carrying capacity in some areas (Suplicy, 2000). Thus, the integrated cultivation of the macroalgae *Gracilaria domingensis* in mussel farms could represent a potential alternative to the expansion and diversification in the mariculture activities in Santa Catarina State. Besides improving the water quality it could yield an additional cash crop to the fishermen engaged in mariculture.

The aim of this work was to adapt a cultivation technique that would make viable the cultivation of the agar producing macroalgae *Gracilaria domingensis* integrated with mussel mariculture in Santa Catarina State.

Methods

The experiments were done in the Armação do Itapocoroy Bay, Penha, Santa Catarina State, Brazil (26°47'S - 48°37'W), where there is a large cultivation park of the mussel *Perna perna*.

The algae were collected at rocky shores near the mussel cultivation grounds and cleaned from epiphytes. The algae were cut in pieces of about 2 g, labeled, weighed and inserted into the cultivation ropes 20 cm from each other. The ropes were placed at two different sites: inside the bay (near to intensive mussel cultivation) and outside the bay (far from intensive mussel cultivation). The ropes were placed vertically, so the plants were kept at depths ranging from 20 to 200 cm.

Growth rates were evaluated weekly over four weeks, based on variation in the fresh weight of each plant. Twenty-four ropes were placed at each site and at the end of every week, six ropes were collected from the inside site and six from the outside site. Although the individual growth rates were obtained, for the purpose of comparison, thalli placed from 20 to 100 cm depth were grouped into the first meter (1 m) whereas those kept from 120 to 200 cm depth were grouped into the second meter (2 m).

To establish the best way to attach the algae to cultivation ropes, four types of attachment were tested: 1) inserted into the strands of the rope (IS); 2) tied using hard plastic strings (HP); 3) tied using soft plastic bag strings (SP); and 4) tied using cotton strings (CO). The algae were attached to the cultivation ropes 20 cm from each other (six replicates each treatment) and cultivated at depths ranging from 20 to 200 cm (grouped into 1 m and 2 m cultivated plants, as explained above), outside the bay, for 1 week.

Relative Growth Rate (RGR, % day⁻¹) of each plant was estimated for thalli that presented increase of biomass during cultivation time, according to the linear equation of growth (Dawes, 1998):

$$\text{RGR} = (((W_f - W_i) / W_i) / t) * 100 \quad (\text{Equation 1})$$

Where: W_i = initial fresh weight (g), W_f = final fresh weight (g), t = cultivation time (days).

The total increase of biomass, at the end of each cultivation period was estimated for each rope, at each depth, represented as percentage of initial biomass (averaged for all replicates in each treatment). Negative yield values were obtained when many plants were lost.

The relative growth rates and biomass yield inside and outside the bay were compared at 1 m and 2 m, different cultivation time (one to four weeks) and different types of attachment to the ropes (IS, HP, SP, CO) using ANOVA and the posteriori test of Tukey HDS.

Results

The averaged growth rates observed inside the bay (from 7.84 to 11.34 % day⁻¹; Tables 1 and 2) were always more than twice the values observed outside the bay (from 2.48 to 3.71 % day⁻¹; Tables 3 and 4).

Comparing both sites in one-week cultivation, the plants cultivated inside the bay presented growth rates significantly higher than plants cultivated outside the bay for the first meter as well as for the second meter depth ($p < 0.01$ for both comparisons).

At the end of the second week of cultivation the growth rates of plants cultivated inside the bay were similar to outside ($p > 0.08$), for both 1 and 2 m depth. However, the total yield per rope was much smaller at the outside site because many thalli were lost, despite high growth rates being obtained (Tables 1 to 4).

If one compares the number of losses at the two sites, with one week of cultivation, losses of plants were not a great problem at this site, even in longer periods of cultivation (only one plant was lost for each depth inside the bay; Tables 1 and 2). On the other hand, during the first cultivation week, more than a half of the plants were lost outside the bay, and these numbers sharply increased with cultivation time, resulting in the loss of all plants in the fourth week (Tables 3 and 4).

Plants cultivated inside the bay also could be kept into the sea and even grown for longer periods (4 weeks; Tables 1 and 2) than plants cultivated outside the bay (2 weeks; Tables 3 and 4).

Biomass yields measured inside the bay were always positive (Tables 1 and 2), meaning that there was higher biomass production than losses. This pattern was not observed outside the bay (Tables 3 and 4), where there were negative biomass yields at all the cultivation times and depths tested.

In the first meter inside the bay, there was an increase in the biomass yields with cultivation time but it was proportionally higher in the first and second cultivation weeks. In the second meter at this site, the biomass yields were lower than in the first meter, but the same pattern for the first meter was observed, with proportionally higher biomass yields in the first two cultivation weeks.

The biomass yields outside the bay were always negative, showing that the losses were greater than the biomass production. The biomass losses increased with cultivation time and were higher in the second meter than in the first.

Comparing the different depths, despite the tendency to higher growth rates in the first meter, there were no significant differences between the two depths tested. The only exception was for the algae tied by cotton strings, where the first meter presented growth rates significantly higher than the second meter (Tables 5 and 6).

Comparing the different ways to attach the algae to ropes, the tied plants presented higher averaged growth rates than the inserted ones, but these differences were not significant (Tables 5 and 6). As occurred in the later experiment, the growth rates decreased with depths (Tables 5 and 6) but these differences were not significant either.

Tied plants also presented a lower number of losses than the inserted plants and the number of losses usually was higher in the first meter than in the second for all treatments tested (Tables 5 and 6).

The biomass yield in this experiment showed no significant differences among the treatments for plants cultivated at 1 m depth. However, the biomass yields of plants inserted into the ropes in the second meter depth were significantly lower than the biomass yields of plants tied with soft plastic bag strings ($p = 0.03$).

Table 1: Growth rates of plants cultivated inside the bay, at 1 m depth for each cultivation time. NI: initial number of plants; NL: number of lost plants during the interval; biomass yield is the average of gains (+) or losses (-) of biomass during the interval; and growth rate as average and standard deviation.

Time	NI	NL	Biomass yield during interval (%)	Growth rate (% day ⁻¹)
------	----	----	---	---------------------------------------

1 week	30	1	+ 40.36	9.12 ± 4.74
2 weeks	30	9	+ 73.95	10.54 ± 6.75
3 weeks	30	9	+ 90.55	8.54 ± 7.40
4 weeks	30	12	+ 121.39	11.34 ± 13.82

Table 2: Growth rates of plants cultivated inside the bay, at 2 m depth for each cultivation time. See codes in Table 1.

Time	NI	NL	Biomass yield during interval (%)	Growth rate (% day ⁻¹)
1 week	30	1	+ 36.46	7.84 ± 4.06
2 weeks	30	9	+ 45.50	8.12 ± 4.90
3 weeks	30	11	+ 73.61	9.87 ± 7.07
4 weeks	30	14	+ 73.25	9.53 ± 9.50

Table 3: Growth rates of plants cultivated outside the bay, at 1 m depth for each cultivation time. See codes in Table 1.

Time	NI	NL	Biomass yield during interval (%)	Growth rate (% day ⁻¹)
1 week	30	16	- 7.70	3.71 ± 2.84
2 weeks	30	26	- 23.16	2.48 ± 1.69
3 weeks	30	30	- 86.96	-
4 weeks	30	30	- 98.47	-

Table 4: Growth rates of plants cultivated outside the bay, at 2 m depth for each cultivation time. See codes in Table 1.

Time	NI	NL	Biomass yield during interval (%)	Growth rate (% day ⁻¹)
1 week	30	17	- 23.16	3.01 ± 2.31
2 weeks	30	25	- 38.00	2.97 ± 2.67
3 weeks	30	29	- 78.27	-
4 weeks	30	30	- 94.61	-

Table 5: Growth rates of plants cultivated outside the bay, at 1 m depth for each attachment type. NI: initial number of plants; NL: number of lost plants during the interval; growth rate. IS: inserted into strand; HP: tied with hard plastic strings; SP: tied with soft plastic bag strings; CO: tied with cotton strings.

Attachment type	NI	NL	Biomass yield during interval (%)	Growth rate (% day ⁻¹)
IS	40	8	+ 40.13	8.26 ± 5.12
HP	30	2	+ 56.56	9.38 ± 5.05
SP	30	3	+ 55.87	10.17 ± 4.81
CO	30	3	+ 57.08	10.63 ± 4.20

Table 6: Growth rates of plants cultivated outside the bay, at 2 m depth for each attachment type. See code in Table 5.

Attachment type	NI	NL	Biomass yield during interval (%)	Growth rate (% day ⁻¹)
IS	40	11	+ 17.37	6.22 ± 4.52
HP	30	3	+ 46.92	8.31 ± 4.60
SP	30	3	+ 49.19	8.96 ± 4.02
CO	30	5	+ 29.65	7.18 ± 3.45

Table 7: Comparative table of averaged growth rates for different species cultivated under different techniques.

Species	Cultivation Technique	Country	Growth rate (% day ⁻¹)
<i>G. domingensis</i> ¹	Vertical	Brazil	2.48 to 10.63
<i>G. gracilis</i> ²	Vertical	South Africa	1 to 10
<i>G. gracilis</i> ³	Horizontal	Namibia	0.84 to 4.15
<i>G. cornea</i> ⁴	Horizontal	Venezuela	1.4 to 2.5

¹ Present work; ²Anderson *et al.*, 2001; ³Dawes, 1995; ⁴Rincones Leon, 1989.

Discussion

Despite the variability of the results, it was found that *Gracilaria domingensis* growth rates as well as biomass yields were high enough to become economically interesting. Biomass yields of about 40% in one week of cultivation are very attractive, indicating good perspectives for the cultivation of *G. domingensis* at this site. The observed values are even more attractive when compared to other studies and species of *Gracilaria* (Table 7).

The low biomass yields achieved outside the bay compared to that observed inside in the cultivation depth and time experiments, was probably a consequence of surge storms that occurred just after the beginning of the experiments. The area inside the bay is more protected and even during the storms, the loss of plants was not a problem. As the area outside the bay is much more exposed to waves, during the storms the algae could be broken and lost, which resulted in negative biomass yields in the experiments of cultivation depth and time. Despite this, very high biomass yields were attained at this same site in the attachment types experiment, in which no surge storms occurred and biomass yields reached 57% in one week. Growth rates in this experiment were also very high, ranging from 6.2 to 10.6 % day⁻¹. These results indicated very good potential for cultivation of *G. domingensis* inside the Armação do Itapocoroy Bay, as well as outside the bay.

The influence of surge storms was also decisive in selecting the cultivation time. After 1 week of cultivation, the probability of breaks or losses of the plants strongly increased. In all experiments comparing cultivation time, best biomass yields could be achieved if the algae were planted and harvested every week. An increase in harvesting frequency also improves the yield by decreasing the probability of thallus fragmentation.

A comparison of the different ways tested to attach the thalli to cultivation ropes showed some variability, but the differences were not significant, at least for the first meter depth. Inserting plants into ropes is faster compared to other ways to attach the plants, which is an advantage because it requires less labor and no expense with strings. Another advantage is that because it is faster, plants suffer less desiccation stress.

Seaweed cultivation around the world is usually carried out by attaching the thalli to horizontal ropes near the sea surface (*e.g.* Dawes, 1995; Rincones Leon, 1989). In the case of *G. domingensis*, as it can tolerate a large range of irradiances (Dawes, 1995; Weller & Cunha, 2003) it is possible to cultivate it in vertical ropes which allows a better exploitation of the water column and a higher yield per area. This is confirmed by our experiment that shows high growth rate up to 2 m depth, giving good yields.

Similarly to our results for *G. domingensis*, Anderson *et al.* (2001) found values for *G. gracilis* ranging from 6 to 7 % day⁻¹ at 1 m depths and from 4.5 to 6 % day⁻¹ at 2 m depths in an upwelling site in South Africa. Comparison of these results demonstrates the good perspectives for *G. domingensis* cultivation in Santa Catarina State.

Conclusions

The long line system used in *Perna perna* cultivation seems to work well also for the cultivation of *Gracilaria domingensis*. This is highly advantageous since the structures already exist and the integrated cultivation of algae could represent a good alternative to increase the fishermen's earnings.

We have shown that the cultivation of *G. domingensis* is technically feasible in the mussel cultivation grounds inside and outside the Armação do Itapocoroy Bay, using the first two meters depth, inserting plants into the strand of the rope, and harvests should be made every week.

Acknowledgements

CYY thanks CNPq for a scholarship (140038/02) and for financial support and laboratory facilities provided by the Department of Botany of the IB/USP and CTTMar – UNIVALI.

Literature Cited

- ABBOTT, I.A. 1988. Some species of *Gracilaria* and *Polycavernosa* from the Siboga Expedition. In: Abbott, I.A. (ed.). *Taxonomy of economic seaweeds with reference to some Pacific and Caribbean species. Vol. II.* California Sea Grant College, Univ. Calif., La Jolla, California, pp. 151-156.
- ANDERSON, R.J.; BOOTHROYD, C.J.T.; KEMP, F.A. and ROTHMAN, M.D. 2001. Open-water cultivation of *Gracilaria* in South Africa: Saldanha Bay or St Helena Bay? In: Chapman, A.R.O.; Anderson, R.J.; Vreeland, V.J. and Davison, I.R. (eds.). *Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium* (Cape Town, South Africa), pp. 35-40.
- BUSCHMANN, A.H.; TROELL, M.; KAUTSKY, N. and KAUTSKY, L. 1996. Integrated tank cultivation of salmonids and *Gracilaria chilensis* (Gracilariaceae, Rhodophyta). *Hydrobiologia*, 326/327: 75-82.
- CHIANG, Y.M. 1981. Cultivations of *Gracilaria* (Rhodophyta, Gigartinales) in Taiwan. In: Levring, T. (ed.), *Proceedings of the 10th International Seaweed Symposium*, Walter de Gruyter, Berlin. pp. 569-574.
- CHOPIN, T.; YARISH, C.; WILKES, R.; BELYEA, E.; LU, S. and MATHIESON, A. 1999. Developing *Porphyra*/salmon integrated aquaculture for bioremediation and diversification of the aquaculture industry. *Journal of Applied Phycology*, 11: 463-472.
- CHOW, F.; MACCHIAVELLO, J.; CRUZ, S.S.; FONCK, E. and OLIVARES, J. 2001. Utilization of *Gracilaria chilensis* (Rhodophyta: Gracilariaceae) as a biofilter in the depuration of effluents from tank cultures of fish, oysters, and sea urchins. *Journal of the World Aquaculture Society*, 32(2): 215-220.
- DAWES, C.J. 1995. Suspended cultivation of *Gracilaria* in the sea. *Journal of Applied Phycology*, 7: 303-313.
- DAWES, C.J. 1998. *Marine Botany*. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York, 480 p.
- ELLNER, S.; NEORI, A.; KROM, M.D.; TSAI, K. and EASTERLING, M.R. 1996. Simulation model of recirculating mariculture with seaweed biofilter: Development and experimental tests of the model. *Aquaculture*, 143(2): 167-184.
- GLENN, E.P.; GERHART, V.; NELSON, S.G.; MOORE, D.; NAGLER, P.L. and MACHADO, C. 2001. A community-based polyculture system in Hawaii that incorporates all the life stages of *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta). In: Chapman, A.R.O.; Anderson, R.J.; Vreeland, V.J. and Davison, I.R. (eds.). *Proceedings of the 17th International Seaweed Symposium* (Cape Town, South Africa), pp. 65-73.
- HOYLE, M.D. 1978. Agar studies in two *Gracilaria* species (*G. bursa-pastoris* (Gmelin) Silva and *G. coronopifolia* J. Ag.) from Hawaii. II. Seasonal aspect. *Botanica Marina*, 21: 347-352.
- KROM, M.D.; ELLNER, S.; RIJN, J.V. and NEORI, A. 1995. Nitrogen and phosphorous cycling and transformations in a prototype 'non-polluting' integrated mariculture system, Eilat, Israel. *Marine Ecology Progress Series*, 118(1-3): 25-36.
- NEORI, A. 1996. The type of N-supply (ammonia and nitrate) determines the performance of seaweed biofilters integrated with intensive fish culture. *Israel Journal of Aquaculture*, Bamidgeh., 48(1): 19-27.
- NEORI, A.; KROM, M.D.; ELLNER, S.P.; BOYD, C.E.; POPPER, D.; RABINOVITCH, R.; DAVISON, P.J.; DVIR, O.; ZUBER, D.; UCKO, M.; ANGEL, D. and GORDIN, H. 1996. Seaweed biofilters as regulators of water quality in integrated fish-seaweed culture units. *Aquaculture*, 141(3-4): 183-199.
- NEORI, A.; RAGG, N.L.C. and SHPIGEL, M. 1998. The integrated culture of seaweed, abalone, fish and clam in modular intensive land-based systems: II. Performance and nitrogen partitioning within abalone (*Haliotis tuberculata*) and macroalgae culture system. *Aquacultural Engineering*, 17: 215-239.
- OHMI, H. 1958. The species of *Gracilaria* and *Gracilariopsis* from Japan and adjacent waters. *Memories of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, 6(1): 1-66, figs. 1-25, pls. I-X.
- OLIVEIRA, E.C.; ALVEAL, K. and ANDERSON, R. 2000. Mariculture of the agar- producing Gracilarioid red algae. *Reviews in Fisheries Science* (CRC Press, USA), 8(4): 345-378.
- POLI, R. and LITTLEPAGE, J. 1998. Desenvolvimento do cultivo de moluscos no estado de Santa Catarina. In: *Anais do Aqüicultura Brasil 1998* (Vol. 1), Recife, Pernambuco. pp. 163-181.
- QIAN, P.; WU, C.Y.; WU, M.; XIE, Y.K. 1996. Integrated cultivation of the red alga *Kappaphycus alvarezii* and the pearl oyster *Pinctata martensii*. *Aquaculture*, 147: 21-35.
- RINCONES LEON, R.E. 1989. Experimental cultivation of an agarophyte alga: *Gracilaria cornea* in the northwest coast of Venezuela. In: Oliveira, E.C. & Kautsky, N. (eds.). *Cultivation of seaweeds in Latin America. Workshop - Univ. S. Paulo/ Int. Foundation for Science*: pp. 65-67.
- SUPLICY, F. 2000. A capacidade de suporte nos cultivos de moluscos. *Panorama da Aqüicultura*, 10(57): 21-24.