



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

MAX WILLIAM DE PINHO SANTANA

**PROSPECÇÃO DE AREAS PROPICIAS PARA O CULTIVO DE MACROALGAS NA
REGIÃO DA COSTA NEGRA, CEARÁ, BRASIL**

FORTALEZA

2017

MAX WILLIAM DE PINHO SANTANA

**PROSPECÇÃO DE AREAS PROPICIAS PARA O CULTIVO DE MACROALGAS NA
REGIÃO DA COSTA NEGRA, CEARÁ, BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos.

Orientador: Prof.Dr. Luis Parente Maia.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S223p Santana, Max William de Pinho.
PROSPECÇÃO DE AREAS PROPICIAS PARA O CULTIVO DE MACROALGAS NA REGIÃO DA
COSTA NEGRA, CEARÁ, BRASIL / Max William de Pinho Santana. – 2017.
84 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-
Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Luis Parente Maia.

1. Gracilaria birdiae. 2. Índice de Aptidão à Algicultura. 3. Cultivo em long line. 4. Aplicativo para
dispositivos móveis. 5. Maricultura.. I. Título.

CDD 551.46

MAX WILLIAM DE PINHO SANTANA

PROSPECÇÃO DE AREAS PROPÍCIAS PARA O CULTIVO DE MACROALGAS NA
REGIÃO DA COSTA NEGRA, CEARÁ, BRASIL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos.

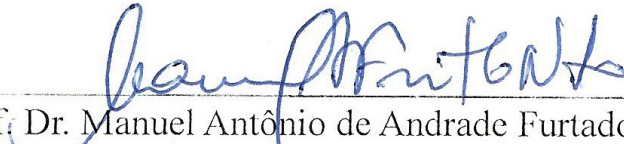
Orientador: Prof. Dr. Luis Parente Maia.

Aprovada em: 31 / 08 /2017.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luis Parente Maia (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Manuel Antônio de Andrade Furtado Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Emanuel Soares dos Santos
Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará (IFCE)



Professor Dr. Dárlis Inácio Alves Teixeira.
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)



Sépia Tecnologia e Consultoria Ltda.

Dedico esta conquista a Deus, aos membros de minha família, minha esposa, Flávia Feitosa e a todos aqueles que contribuíram para a conclusão desta obra.

“Assim que, se alguém está em Cristo, nova criatura é; as coisas velhas já passaram; eis que tudo se fez novo”.

2 Coríntios 5:17

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado a força necessária para tomar as decisões corretas e as vezes desesperadas com perseverança necessária para nunca desistir.

Agradeço a toda minha família, em especial: Aos meus pais Diógenes e Afonsina por sempre me apoiarem em todos os momentos de minha vida.

A minha esposa e meu amor, Flávia Feitosa, pela compreensão e o companheirismo durante toda a jornada de nossa vida em comum.

Aos meus irmãos: Jorge William, Eddie William e Maria Adélia pelo apoio incondicional e constante.

As minhas sobrinhas, Anna Gabriela e Iara Lisa, pela companhia durante minha existência, como tio e amigo.

A todas as pessoas que de forma direta e indireta participaram desta pesquisa, em especial: Ao amigo e coorientador Dr. Emanuel Soares dos Santos que mui generoso propiciou a verdadeira razão desse estudo.

Aos amigos José Valdery Costa Secundo Junior (Juninho), José Itamar Batalha e Roberto Leopoldo de Medeiros pela fidelidade ao meu propósito, pela grande força dada nos trabalhos de campo.

Ao amigo e técnico em Aquicultura Tarcio Gomes da Silva, pelo auxílio nas liberações dos equipamentos laboratoriais.

Ao Doutor e amigo Dárlio Alves Teixeira pela ajuda na identificação das áreas propícias na Costa Negra, litoral Oeste da costa do Ceará.

Aos amigos e irmãos: Pedro Henrique Martins Lopes, Márcio Alves Bezerra, Toivi Mashi Neto, Rodrigo de Salles pela força dispensada nas horas certas na conquista desta tese.

Ao amigo e colega Mestre Diego Aguiar Sousa e também ao amigo e irmão Daniel Rodrigues da Costa Filho pela confecção do aplicativo desenvolvido para esse trabalho de tese, onde será patentado e disponibilizado para os demais pesquisadores da algicultura.

Ao meu Orientador Dr. Luis Parente Maia por ter me apoiado em todas as minhas dificuldades e incertezas. Pelo qual essa conquista não seria possível.

RESUMO

O objetivo do estudo realizado nesta tese foi verificar a potencialidade e realizar a prospecção de áreas propícias para o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* na região da Costa Negra, litoral oeste do estado do Ceará, Brasil. Foram realizados cultivos experimentais em sistemas de *long line* em duas praias da região, a saber, Lagoa da Volta e Volta do Rio, onde foram acompanhados os indicadores de desempenho: ganho de peso (g), ganho de biomassa (kg) e taxa de crescimento relativo (% do peso.dia⁻¹). Durante o período de cultivo, de 09 de junho a 24 de julho de 2016 (45 dias), foram monitorados os seguintes indicadores: turbidez (FNU), sólidos totais dissolvidos (mg.L⁻¹), condutividade elétrica (mS.cm⁻¹), saturação de oxigênio (%) e concentração de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹), pH, temperatura da água (°C), salinidade, transparência de Secchi (cm), velocidade de corrente (m.s⁻¹) e a velocidade do vento (m.s⁻¹). Utilizando estes seis últimos indicadores ambientais foi proposto o inédito índice de Aptidão à Algicultura (IAA) o qual utilizou uma escala de aptidão à algicultura dividida em cinco níveis conforme a pontuação obtida: Pouco Apto (0 – 32), Apto (33 – 66) e Muito Apto (67 – 100). A partir do método do IAA foi desenvolvido um aplicativo também inédito para dispositivos móveis no intuito de ser usado com uma ferramenta para auxiliar na prospecção das áreas aptas à algicultura na região estudada. Como resultado dos cultivos experimentais, assim como pelo resultado do IAA, foi verificado que a Praia da Lagoa da Volta proporcionou melhores condições para o cultivo das macroalgas, sendo os resultados de desempenho cerca de 2,5 vezes melhores nesta Praia, em relação a Praia da Volta do Rio. Ambas foram classificadas como "Aptas" conforme a classificação do IAA, no entanto, os valores obtidos na primeira foram maiores que nesta última, corroborando com os resultados dos cultivos experimentais. O resultado da prospecção de novas áreas para algicultura com o uso do aplicativo do IAA, apresentou os seguintes resultados conforme a escala de aptidão proposta: Praia da Barrinha foi classificada como Muito Apta (72,46 pontos); Praia dos Patos (53,06 pontos), Praia de Almofala (50,95 pontos), Praia da Ilha dos Coqueiros (44,22 pontos), Praia de Arpoeiras (42,72 pontos), Praia de Porto dos Barcos (38,59 pontos), Praia de Torrões (38,23 pontos), Praia do Preá (36,21 pontos) e a Praia do Espraiado (34,93 pontos) classificadas como Aptas e a Praia de Imburanas (29,93 pontos) classificada como Pouco Apta. Concluiu-se que é possível realizar o cultivo de macroalgas na região estudada, e que o IAA mostrou-se eficaz na avaliação apontando a área como de maior potencial a mesma que obteve melhor resultado de cultivo. O aplicativo do IAA foi considerado uma ferramenta útil na prospecção de novas áreas para algicultura, informando a aptidão ainda *in loco*. A prospecção realizada nas 10 praias visitadas na região da Costa Negra, além das duas onde foram realizados os cultivos, apontaram que a Praia da Barrinha é a que apresenta a maior

aptidão para algicultura. Recomendam-se mais estudos para confirmar a eficácia do IAA, assim como algumas melhorias do aplicativo.

Palavras-chave: *Gracilaria birdiae*. Índice de Aptidão à Algicultura. Cultivo de macroalgas, Aplicativo para dispositivos móveis, Maricultura.

ABSTRACT

The aims of this thesis was to verify the potentiality and to prospect of suitable areas for the farm of the seaweed *Gracilaria birdiae* in the region of Costa Negra, west coast of the state of Ceará, Brazil. Experimental cultures were carried out in long line systems in two beaches of the region, namely Lagoa da Volta and Volta do Rio, where the performance indicators were followed: weight gain (g), biomass gain (kg) and Specific growth (% of weight.day⁻¹). During the growing experiment from, June 9th to July 24 2016 (45 days), the following indicators were monitored: turbidity (FNU), total dissolved solids (mg.L⁻¹), electrical conductivity (mS.cm⁻¹), pH, water temperature (°C), salinity, Secchi transparency (cm), rate of oxygen saturation (%) and dissolved oxygen concentration (mg.L⁻¹), current velocity (m.s⁻¹) and wind velocity (m.s⁻¹). Using the last six environmental indicators, the novel Aptitude to Algiculture Index (IAA) was proposed, which used a scale of aptitude to algiculture divided into five levels according to the score obtained: Low Apt (0 - 32), Apt (33-66) and High Apt (67-100). From the IAA method, an application for mobile devices was developed in order to be used with a tool to aid in the exploration of the algiculture areas in the region studied. As a result of the experimental farms, as well as the IAA results, it was observed that the Beach of Lagoa da Volta provided better conditions for macroalgae farm, and the results of performance were about 2.5 times better in relation to Beach of Volta do Rio were classified as Low Apt according to the IAA classification, however, the values obtained in the first one were higher than in the latter, corroborating with the results of the experimental cultures. The results of the prospection of new areas for agriculture with the use of the IAA application, presented the following results according to the proposed aptitude scale: Beach of Barrinha was classified as Very Apt (72.46 points); Beach of the Patos (53,06 points), Beach of Almofala (50,95 points), Beach of the Island of the Coqueiros (44,22 points), Beach of Arpoeiras (42,72 points) 59 points), Beach of Torrões (38.23 points), Beach of Preá (36.21 points) and Beach of Espraiado (34.93 points) classified as Apt and Beach of Imburanas (29.93 points) classified as Little Apt. In conclusion, we can say that it is possible to cultivate macroalgae in the studied region, the IAA proved to be effective in your evaluation, pointing to the area with the highest potential, the same one that obtained the best farm result. The IAA application proved to be a useful tool in the exploration of new areas for algicultura, informing level of aptitude on site. The prospection on the 10 beaches visited in the region of Costa Negra, besides the two that were studied, pointed out that Beach of Barrinha is the one with the greatest aptitude for algiculture. Further studies are recommended to confirm the effectiveness of the IAA, as well as improvements to the applicative.

Keywords: *Gracilaria birdiae*. Aptitude to Algiculture Index, Seaweed growth, Mobile app. Mariculture.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - *Exemplares de macroalgas do grupo das algas verdes* *Monostroma nitidum* (A), *Enteromorpha intestinalis* (B), *Ulva compressa* (C) e *Caulerpa prolifera* (D).26
- Figura 2 - *Exemplares da macroalga do grupo das algas marrons ou pardas como a laminaria* *Saccharina japonica* sendo preparadas para consumo (A) e no ambiente natural (B); *Undaria pinnatifida* (C) e *Hizikia fusiforme* (D). **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3 – *Exemplares de macroalgas do grupo das algas vermelhas* *Gigartina skottsbergii* (A), *Eucheuma denticulatum* (B), *Corallina officinalis* (C) e *Gelidium abbottiorum* (D).27
- Figura 4 - Síntese da classificação taxonômica da macroalga *Gracilaria birdiae* Plastino & Oliveira, 2002.28
- Figura 5- Ato de coleta no banco natural (A) a aparência da macroalga *Gracilaria birdae* coletada (B).29
- Figura 6 – Produção mundial de animais e plantas aquáticas oriundas da aquicultura em volume e valores de 1995 a 2014.31
- Figura 7 – Modelo simplificado das balsas utilizada no cultivo da macroalga *Kappaphycus alvarezii* no Brasil.34
- Figura 8 – Modelo simplificado das mesas utilizada no cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* no estuário do Rio Curimatau, localizado no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil.35
- Figura 9 – Modelo de estrutura para cultivo de macroalgas do tipo *long line* comumente utilizado na região nordeste do Brasil.36
- Figura 10 – Diferentes técnicas de cultivo das macroalgas: *Laminaria japonica** (kombu), *long line* na China (A), *Eucheuma denticulatum*, linha de fundo em Zanzibar (B), *Monostroma nitidum*, cultivo em rede no Japão (C) e *Gracilaria dura*, em balsa na Índia (D).37
- Figura 11 - Cultivos de macroalgas em estruturas construídas no continente para cultivo de *Chondrus crispus* no Canadá (A), de *Laminaria* sp. nos EUA (B) e de *Gracilaria* sp. e *Ulva lactuca* em Israel (C).38
- Figura 12 – Policultivo da macroalga *Kappaphycus alvarezii* em viveiros de cultivo de camarão *Litopenaeus vannamei* no Equador, realizado em sistema de estacas (A e B) e monolinhas (C).39
- Figura 13 – Banco natural de algas da Praia das Flecheiras, Trairi-CE, Brasil (A) e a atividade44
- Figura 14 - Mapa do Litoral do Estado Ceará, Brasil, seta amarela indica a Praia de Flecheiras

no município de Trairi-CE, Brasil, a seta vermelha indica o litoral de Acaraú-CE, Brasil.....	44
Figura 15 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de cultivo da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> , na Praia da Lagoa da Volta, distrito de Aranaú, a oeste do mesmo município.	45
Figura 16 – Imagem de satélite com localização exata e coordenadas geográficas do local onde foi implantado o cultivo de macroalgas na Praia da Lagoa da Volta, Acaraú-CE, Brasil.....	46
Figura 17 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de cultivo da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> , na Praia da Volta do Rio, a leste do mesmo município.	46
Figura 18 – Imagem de satélite com localização exata e coordenadas geográficas do local onde foi implantado o cultivo de macroalgas na Praia da Volta do Rio, Acaraú-CE, Brasil.....	47
Figura 19 - Poita utilizado na ancoragem da estrutura de cultivo (A) e mudas de macroalgas prontas para serem fixadas nas linhas secundárias da estrutura de cultivo (B).	48
Figura 20 – Desenho ilustrativo representando o modelo de estrutura <i>long line</i> utilizada para os cultivos experimentais da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i>	48
Figura 21 – Sequência ilustrativa da preparação das mudas de macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> e fixação das mesmas linhas secundárias das estruturas de cultivo tipo <i>long line</i> ...	49
Figura 22 – Reprodução da tela de trabalho do aplicativo Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) para dispositivos móveis.	55
Figura 23 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia do Preá, Cruz-CE, Brasil, na Região da Costa Negra.	56
Figura 24 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia da Barrinha, Cruz-CE, Brasil, na Região da Costa Negra.....	57
Figura 25 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia de Arpoeiras, no mesmo município, na Região da Costa Negra.	58
Figura 26 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia de Imburanas, no mesmo município, na Região da Costa Negra.....	58
Figura 27 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia da Ilha dos Coqueiros, no mesmo município, na Região da Costa Negra....	59
Figura 28 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia do Espraiado, no mesmo município, na Região da Costa Negra.....	60
Figura 29 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia do Porto dos Barcos, no município de Itarema-CE, Brasil, na Região da	

Costa Negra.	60
Figura 30 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia de Almofala, no município de Itarema-CE, Brasil, na Região da Costa Negra.....	61
Figura 31 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia de Torrões, no município de Itarema-CE, Brasil, na Região da Costa Negra.	62
Figura 32 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia dos Patos, no município de Itarema-CE, Brasil, na Região da Costa Negra.	62
Figura 33 – Manejo de colheita (A) e o volume total produzido (B) de algas <i>Gracilaria birdiae</i> cultivadas no long line da Praia da Volta do Rio, Acaraú-CE, Brasil.	64
Figura 34 – Mudanças da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> (A) implantadas no início do cultivo e no momento da colheita (B) ao final do cultivo experimental.	65
Figura 35 – Representação dos resultados de pontuação final nos gráficos tipo <i>Gauge</i> do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) das Praias da Lagoa da Volta no período seco (A) e chuvoso (B) e da Volta do Rio no período seco (C) e chuvoso (D).	72
Figura 36 – Representação dos resultados do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) em gráficos tipo <i>Gauge</i> das nas 10 localidades na Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil, visitadas durante a fase de teste do aplicativo IAA para dispositivos móveis.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Evolução da produção mundial de plantas aquáticas cultivadas de 2005 a 2014.	31
Tabela 2 – Biomassa, produtos e valores que compõem a indústria mundial de derivados de algas no ano de 2006.....	42
Tabela 3 - Limites máximos, ótimos e mínimos e as respectivas justificativas dos indicadores utilizados na composição do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA).	51
Tabela 4 – Indicadores utilizados no Índice de Aptidão à Algicultura (IAA), classes de normalização e respectivos valores normalizados.	52
Tabela 5 - Equações de normalização corresponde aos respectivos intervalos de valores dos indicadores que compõem o Índice de Aptidão à Algicultura (IAA).	53
Tabela 6 - Escala de avaliação dos resultados do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) e os respectivos valores e cores.....	54
Tabela 7 – Resultados do desempenho de cultivo da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> realizada dois diferentes locais da Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil.	65
Tabela 8 – Resultados do monitoramento dos indicadores ambientais monitorados nos dois diferentes locais onde foram realizados os cultivo da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> na Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil.	67
Tabela 9 – Resultados do monitoramento dos indicadores ambientais utilizados no Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) monitorados nos dois diferentes locais onde foram realizados os cultivo da macroalga <i>Gracilaria birdiae</i> na Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil.	69
Tabela 10 – Resultado dos indicadores ambientais, dos valores parciais e final do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA), calculados para a Praia da Lagoa da Volta na Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil durante os períodos seco e chuvoso.	70
Tabela 11 – Resultado dos indicadores ambientais, dos valores parciais e final do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA), calculados para a Praia da Volta do Rio na Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil durante os períodos seco e chuvoso.	71
Tabela 12 – Resultado dos indicadores ambientais, dos valores parciais e final do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) calculados durante a fase de teste do aplicativo IAA para dispositivos móveis, nas 10 localidades na Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil.	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APAFG	Associação de Produtores de Algas das Flecheiras e Guajirú
BA	Estado da Bahia
Bm	Biomassa
Bmf	Biomassa final
Bmi	Biomassa inicial
CE	Condutividade elétrica
CE	Estado do Ceará
cm	Centímetros
DC	Depois de Cristo
EUA	Estados Unidos da América
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i> – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FNU	Unidade nefelométricas de formazina
g	Gramas
GBm	Ganho de biomassa
GP	Ganho de peso
h	Hora
IAA	Índice de Aptidão à Algicultura
Ic	Intervalo de classe de normalização
IMTA	<i>Integrated Multi-Trophic Aquaculture</i> - Aquicultura Integrada Multi-Trófica
kg	Kilogramas
km	Kilometros
L	Litros
ln	Logaritmo natural ou neperiano
m	Metros
m	Número de indicadores;
m ²	Metros quadrados
mg	Miligramas
min	Minutos
mm	Milímetro
mS	Microsiemens
n	Número de espécimes
Nc	Número de classes

NE	Região Nordeste do Brasil
PB	Estado da Paraíba
PET	Polietileno tereftalato
Pf	Peso final
pH	Potencial hidrogeniônico
Pi	Peso inicial
P_{maxi}	Peso máximo do i-ésimo indicador;
PVC	Policloreto de Polivinila
RJ	Estado do Rio de Janeiro
RN	Estado do Rio Grande do Norte
s	Segundos
S	Sul
SC	Estado de Santa Catarina
SP	Estado de São Paulo
t	Tempo
Ton	Toneladas
TCR	Taxa de crescimento relativo
US\$	Dólares americanos
Vf	Valor final
Vi	Valor inicial
W	Oeste
WSSV	<i>White Spot Syndrome Virus</i> - Vírus da Síndrome da Mancha Branca
°C	Graus Celsius
%	Porcentagem
$\frac{1}{4}$	Um quarto ou quarta parte
$\frac{3}{4}$	Três quartos ou terça parte

SUMÁRIO

CONSIDERAÇÕES INICIAIS	18
1 INTRODUÇÃO	20
2 OBJETIVOS	23
2.1 Objetivos Específicos.....	23
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1 Macroalgas	24
<i>3.1.1 Gracilaria birdiae</i> Plastino & Oliveira, 2002.....	28
3.2 Produção de Macroalgas no Mundo	30
<i>3.2.1 Produção de Macroalgas no Brasil.....</i>	<i>33</i>
3.3 Tecnologias Utilizadas no Cultivo de Macroalgas	36
3.4 Aplicações e Usos das Macroalgas.....	39
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.1 Delineamento Experimental	43
4.2 Cultivos Experimentais da Macroalga <i>Gracilaria birdiae</i>.....	43
<i>4.2.1 Coleta de algas para preparação das mudas</i>	<i>43</i>
<i>4.2.2 Locais de cultivo.....</i>	<i>44</i>
<i>4.2.2.1 Praia da Lagoa da Volta</i>	<i>45</i>
<i>4.2.2.2 Praia da Volta do Rio</i>	<i>46</i>
<i>4.2.3 Estrutura de cultivo</i>	<i>47</i>
<i>4.2.4 Indicadores de rendimento do cultivo</i>	<i>49</i>
<i>4.2.5 Indicadores ambientais.....</i>	<i>50</i>
4.3 Avaliação de Áreas para Implantação da Algicultura.....	51
<i>4.3.1 Normalização dos indicadores utilizados.....</i>	<i>51</i>
<i>4.3.2 Índice de aptidão à algicultura (IAA)</i>	<i>53</i>
<i>4.3.2.1 Aplicativo do IAA para Dispositivos Móveis.....</i>	<i>54</i>
4.4 Prospecção de Áreas para Implantação da Algicultura.....	55
4.5 Análises Estatísticas.....	63
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
5.1 Cultivos Experimentais da Macroalga <i>Gracilaria birdiae</i>.....	64
<i>5.1.1 Indicadores de rendimento do cultivo</i>	<i>64</i>
<i>5.1.2 Indicadores ambientais.....</i>	<i>67</i>
5.2 Avaliação de Áreas para Implantação da Algicultura.....	68
<i>5.2.1 Índice de aptidão à algicultura (IAA)</i>	<i>68</i>
<i>5.2.1.1 Indicadores Ambientais Usados no IAA</i>	<i>68</i>

5.2.1.2 Resultados do IAA nos Locais de Cultivo	70
5.2.1.3 Prospecção de Locais para Algicultura Utilizando o Aplicativo do IAA para Dispositivos Móveis	73
6 CONCLUSÕES.....	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	78
REFERÊNCIAS	79

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Sensíveis a situação de exploração intensa dos bancos naturais de macroalgas, assim como da situação de vulnerabilidade social das comunidades pesqueiras do litoral de todo o país, a presente pesquisa contribuirá incentivando o fortalecimento de uma atividade produtiva que auxiliará na amenização das consequências destes dois problemas, a saber: o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae*, conhecida como algicultura.

Considerando a problemática citada, foi tomada como hipótese a ser testada nesta pesquisa: **É possível propor um indicador que seja uma ferramenta eficaz em apontar a aptidão de áreas para serem implantados maricultura de macroalgas.**

Assim, ao realizar a prospecção de áreas propícias à implantação do cultivo desta macroalga na Região da Costa Negra, litoral oeste do Estado do Ceará, Brasil, será apontada uma nova alternativa para incremento de renda nas comunidades pesqueiras desta região, respeitando a cultura e vocação local, pois as atividades relacionadas a pesca artesanal são predominantes na economia familiar destas comunidades, onde os homens são pescadores e as mulheres e crianças colaboram com a coleta de bivalves nas extensas praias desta região.

Esta tese foi escrita em capítulo único subdividido em Introdução, onde, de forma sucinta, foi contextualizado o assunto geral a ser abordado neste estudo; o qual foi seguido pela exposição dos Objetivos propostos, dentre os quais o principal foi apontar a potencialidade e realizar a prospecção das áreas propícias ao desenvolvimento da algicultura na Região da Costa Negra-CE, Brasil.

No intuito de realizar uma descrição mais aprofundada da temática abordada, foi realizado o Levantamento Bibliográfico, no qual foi descrito o estado da arte acerca da produção de macroalgas no Mundo e no Brasil, tendo como foco a espécie em estudo *Gracilaria birdiae*.

Na sequência do documento encontra-se descrição detalhada da Metodologia empregada, o qual merece ênfase a realização do cultivo experimental utilizando uma tecnologia simples, sistema de *long line*, em duas diferentes localidades com monitoramento dos indicadores de desempenho do cultivo e de qualidade ambiental, os quais foram utilizados na proposição do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA), que para sua aplicação foi desenvolvido o protótipo de um aplicativo para dispositivos móveis, este foi utilizado para apontar o nível de aptidão de 10 diferentes praias que foram prospectadas para a realização da algicultura.

Depois foram expostos os Resultados obtidos com as Discussões pertinentes acerca dos mesmos, dentre os quais os de maior importância foram: i) a eficácia do IAA para identificação da Praia da Lagoa da Volta, Acaraú-CE, como mais apta à algicultura do que a

Praia da Volta do Rio, situação confirmada pelos resultados de desempenho; ii) a Praia da Barrinha, Cruz-CE, como a área com maior nível de aptidão entre as prospectadas; iii) o sucesso no desenvolvimento do aplicativo para dispositivos móveis, como uma ferramenta que irá facilitar o estabelecimento desta atividade.

Para finalizar este documento foram expostas as principais conclusões acerca dos resultados observados nesta pesquisa e as considerações finais sobre as perspectivas para as futuras pesquisas a serem realizadas nesta área do conhecimento, assim como sobre as melhorias que devem ser realizadas no aplicativo para dispositivos móveis no intuito de torná-lo uma ferramenta mais eficiente e pleitear a patente deste.

1. INTRODUÇÃO

As macroalgas são usadas em todo o mundo em uma gama de aplicações. A principal utilização deste recurso natural é na alimentação direta pelos seres humanos (GRAHAM; GRAHAM; WILCOX, 2009). Algas são usadas para este fim há muitos séculos, principalmente pelos orientais, que possuem o costume de aproveitar uma ampla variedade dos recursos marinhos como alimento (BEZERRA, 2008) devido ao seu elevado valor nutricional, sendo ricas em proteínas, minerais, carboidratos e vitaminas. Apesar de vários esforços para desenvolvimento de tecnologias de cultivo, durante muito tempo as algas consumidas como alimento foram provenientes do extrativismo e a retirada descontrolada dos bancos naturais fez com que as populações de diversas espécies de algas diminuíssem, principalmente aquelas de valor comercial, assim, o cultivo de algas marinhas além de ser uma alternativa econômica, passou a ser também uma alternativa ecológica de uso dos recursos naturais (MUÑOZ; FREILE-PELEGRÍN; ROBLEDO, 2004).

No Brasil, existem cerca de 700 espécies de macroalgas marinhas catalogadas incluindo as do filo Rhodophyta com alguns gêneros de importância econômica, como a *Gracilaria*, *Gelidium* e *Hypnea* (CABRAL, 2010), as algas são pouco exploradas comercialmente, sendo quase restrita a exploração de alguns gêneros de algas vermelhas.

Apesar das macroalgas serem ricas em polissacarídeos e minerais, poucas têm sido usadas como plantas comestíveis, desta forma, existe potencial para o crescimento do seu valor como alimento humano ou aditivo e, assim, expandir sua comercialização (OLIVEIRA et al., 2000). Além disso, o grande interesse econômico também é justificado pela crescente demanda por ficocolóides, para diferentes usos nas indústrias farmacêuticas, alimentícia e de cosméticos (ARAÚJO; RODRIGUES, 2011) dentre os vários produtos extraídos de algas, o agar é o que mais se destaca, devido a sua grande utilização e demanda no mercado mundial, figurando como um dos mais importantes dentre os ficocolóides (McHUGH, 2003). O agar é um polissacarídeo extraído de algumas famílias de Rhodophytas, principalmente das famílias *Gelidiaceae* e *Gracilariaceae* (BEZERRA; MARINHO-SORIANO, 2010). Embora o cultivo de *Gracilaria* já esteja consolidado em várias partes do mundo, os diferentes métodos de cultivo estão sempre sendo adaptados às condições locais de cada região.

A maioria dos cultivos de macroalgas existentes atualmente utiliza alguma forma de cultivo vegetativo, e neste tipo de cultivo, as plantas não se reproduzem por esporos sendo as mudas (fragmentos de plantas) inseridas diretamente em cordas, ou colocadas para crescer

em gaiolas, viveiros, tanques e outras estruturas (BUSCHMANN et al., 2001). Já no Brasil, apesar da grande diversidade de espécies de macroalgas com potencial econômico, o desenvolvimento destas técnicas de cultivo ainda se encontra em fase experimental, embora estudos realizados tenham apresentado resultados animadores (MARINHO-SORIANO; MORALES; MOREIRA, 2002).

Em relação à importância do desenvolvimento de atividades que proporcionem inclusão social às comunidades com algum nível de fragilidade, sabe-se que as comunidades costeiras Nordesteiras estão entre as mais pobres e marginalizadas do Brasil, dependendo exclusivamente da pesca artesanal para o seu sustento. Nos últimos anos tem-se observado uma grande migração de populações residentes no interior para as comunidades costeiras em busca de novos meios de subsistência, fazendo com que haja conflitos sociais. Aliado a isto, ocorre a depleção dos estoques pesqueiros (peixes, crustáceos e mariscos) , que tem provocado a exploração novos bancos naturais, incluindo os blocos de algas, que estão em pontos cada vez mais remotos da costa dessa região (BEZERRA; MARINHO-SORIANO, 2010).

De acordo com Simões (2009) apesar dos vários projetos experimentais implantados na região Nordeste do Brasil com resultados positivos, ainda não foi possível implantar nenhum cultivo em escala comercial. Isso apesar do objetivo do uso racional desses recursos marinhos, visando principalmente a sustentabilidade da atividade extrativista, por meio da maricultura, em comunidades litorâneas primeiramente nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba (CARVALHO-FILHO, 2004; MIRANDA; BEZERRA; TEIXEIRA, 2004, TEIXEIRA et al., 2004).

Atualmente, as algas comercializadas no estado do Ceará pertencem aos gêneros *Gracilaria* e *Hypnea*, no entanto, a exploração de algas marinhas no estado não é uma atividade que se avalie em sua exata dimensão, devido ao fato de não dispormos atualmente de elementos que possam quantificar a produção retirada dos estoques naturais, nem informações oficiais sobre o número de pessoas envolvidas nesta atividade.

Para auxiliar a administração deste recurso é importante que sejam desenvolvidos métodos ou ferramentas que auxiliem a exploração dos bancos naturais das algas, e que também ajudem na organização do cultivo destas espécies, de modo a garantir a sustentabilidade desta atividade. Uma ferramenta útil que pode ser utilizada como alternativa para auxiliar a gestão deste recurso é criação de indicadores ou índices específicos para este fim. Corroborando com essa ideia Mattar-Neto, Krüger & Dziedzic (2009) explicam que tendo um conjunto de indicadores como ferramentas para o planejamento, existirão

parâmetros para melhor aproveitamento dos recursos naturais e também para a indicação de medidas preventivas de degradação ambiental e consequente prejuízos econômicos.

O principal papel dos indicadores é transformar dados em informações relevantes para os tomadores de decisão e o público (CALIJURI et al., 2009), sendo componentes de avaliação ambiental importantes, capazes de quantificar alterações na qualidade do meio ambiente e na quantidade de recursos naturais, bem como avaliar os esforços desenvolvidos visando à melhoria do meio ambiente ou à mitigação de sua degradação (MATTAR-NETO; KRÜGER; DZIEDZIC, 2009).

2 . OBJETIVOS

Identificar áreas propícias para a instalação de cultivos da macroalga *Gracilaria birdiae* na região da Costa Negra, situada no litoral Oeste do estado do Ceará, Brasil, visando mostrar a potencialidade desta região para tal atividade, assim como para nortear a instalação dos futuros empreendimentos produtivos neste segmento, desta forma auxiliando a promoção do desenvolvimento regional.

2.1 Objetivos Específicos

- i. Testar a viabilidade técnica do cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae*, para isso foram realizados cultivos simultâneos desta alga em dois diferentes locais da região da Costa Negra, no litoral oeste do Ceará, Brasil;
- ii. Realizar o monitoramento de determinados indicadores ambientais para a caracterização dos dois locais onde foram realizados os cultivos, para com isso poder realizar a comparação entre as condições ambientais e os resultados de rendimento dos cultivos;
- iii. Por meio da avaliação dos resultados dos indicadores ambientais pretende-se realizar a proposição do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA), o qual servirá como uma ferramenta para escolha de locais para implantação dos cultivos;
- iv. Transformar o IAA em um aplicativo para ser usado em dispositivos móveis que seja simples e de fácil operação, no intuito de disponibilizar ao público interessado esta ferramenta de uma forma prática.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Macroalgas

O termo “algas” designa um variado grupo de organismos vegetais, abrangendo uma enorme variabilidade morfológica estrutural e metabólica, incluindo até grupos procarióticos, a maior parte dos organismos representantes vivem na água, de forma livre, fazendo parte do plâncton (fitoplâncton) ou bentos (fitobentos). As algas são consideradas como a base dos ecossistemas aquáticos por realizarem fotossínteses. além disso as algas, são responsáveis por cerca de 40 a 50% da fixação do carbono e produção de oxigênio do planeta (OLIVEIRA, 2008).

De acordo com Oliveira (2008), as algas podem ser divididas em procarióticas, que tem sido reunida em dois grupos: Cyahophyta (ou Cyanobacteria) e Prochlorophyta (ou Prochlorobacteria); e algas eucariontes, divididas em: i) algas vermelhas (Rhodophyta), as quais, devido sua importância para esta tese, serão comentadas com maiores detalhes mais adiante; ii) algas Chromophyta, comumente subdivididas em Phaeophyta, Bacillariophyta, Chrysophyta e Dynophyta, entre outras subdivisões menos comuns; iii) e as algas Chlorophyta e Euglenophyta, entre outras, a saber, nesta mesma divisão estão todas as plantas terrestres.

Segundo Yoneshigue-Valentim (2009), definem as macroalgas ou algas macroscópicas como sendo a parcela de organismos genericamente chamados de algas que apresentam dimensões visíveis a olho nu, as quais apresentam um nível de complexidade estrutural maior do que as algas unicelulares. As macroalgas comumente possuem hábitos bentônicos, no entanto algumas espécies são capazes de sobreviver flutuando durante parte da vida; e em casos raros, como é o exemplo das espécies do gênero *Sargassum* e algumas outras que crescem associadas a esta, que apesar do seu grande porte, passam todo o ciclo de vida flutuando.

As algas verdes, segundo Kiliņ et al. (2013), são encontradas em praias arenosas e rochosas, por tolerarem bem a baixa salinidade algumas espécies habitam regiões estuarinas. Devido o uso apenas da clorofila para a fotossíntese, que lhes proporciona a coloração verde predominante, necessitam de elevada luminosidade, fazendo que tenham a capacidade de sobreviver em zonas mais elevadas da costa, evitando a concorrência com as algas vermelhas e marrons. As espécies de *Ulva* sp., *Enteromorpha* sp., *Monostroma* sp., *Caulerpa* sp. e

Codium sp. são bastante consumidas como alimento nos países da Ásia, especialmente o Japão, como anteriormente citado é um traço marcante da culinária asiática.

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**1 estão expostas algumas imagens de exemplares das espécies *Monostroma nitidum*, *Enteromorpha intestinalis*, *Ulva compressa* e *Caulerpa prolifera* para exemplificar as macroalgas do grupo das algas verdes.

Figura 1- Exemplares de macroalgas do grupo das algas verdes *Monostroma nitidum* (A), *Enteromorpha intestinalis* (B), *Ulva compressa* (C) e *Caulerpa prolifera* (D).



Fonte: Algaebase (2017).

Dentre as algas marrons ou pardas (*Phaeophyceae*), grupo com cerca de 1.750 espécies, destacam-se as macroalgas *Laminaria* sp. (Kombu), *Undaria* sp. (Wakame) e *Hizikia fusiforme* (Hiziki), pois são comestíveis e um importante recurso alimentar para os países asiáticos, especialmente a China e o Japão (CHOPIN; SAWHNEY, 2009; KILINÇ et al., 2013). Dentre estas, as Laminarias são aquelas com maior produção individual, a principal representante destas por sua vez é a *Laminaria japonica*, que mais recentemente foi reclassificada, tendo o nome da espécie alterada para *Saccharina japonica*.

Na Figura:2 é possível observar imagens de exemplares das três algas anteriormente citadas que fazem parte da culinária oriental, a *Saccharina japonica* sendo

preparada para consumo e no ambiente natural fixada ao substrato consolidado, assim como as *Undaria pinnatifida* e *Hizikia fusiforme*.

Figura 2 - Exemplos da macroalga do grupo das algas marrons ou pardas como a laminaria *Saccharina japonica* sendo preparadas para consumo (A) e no ambiente natural (B); *Undaria pinnatifida* (C) e *Hizikia fusiforme* (D).



Fonte: Algaebase (2017) (A, B e C); <http://objectief.be/Hiziki-Hizikia-fusifforme.html> (D).

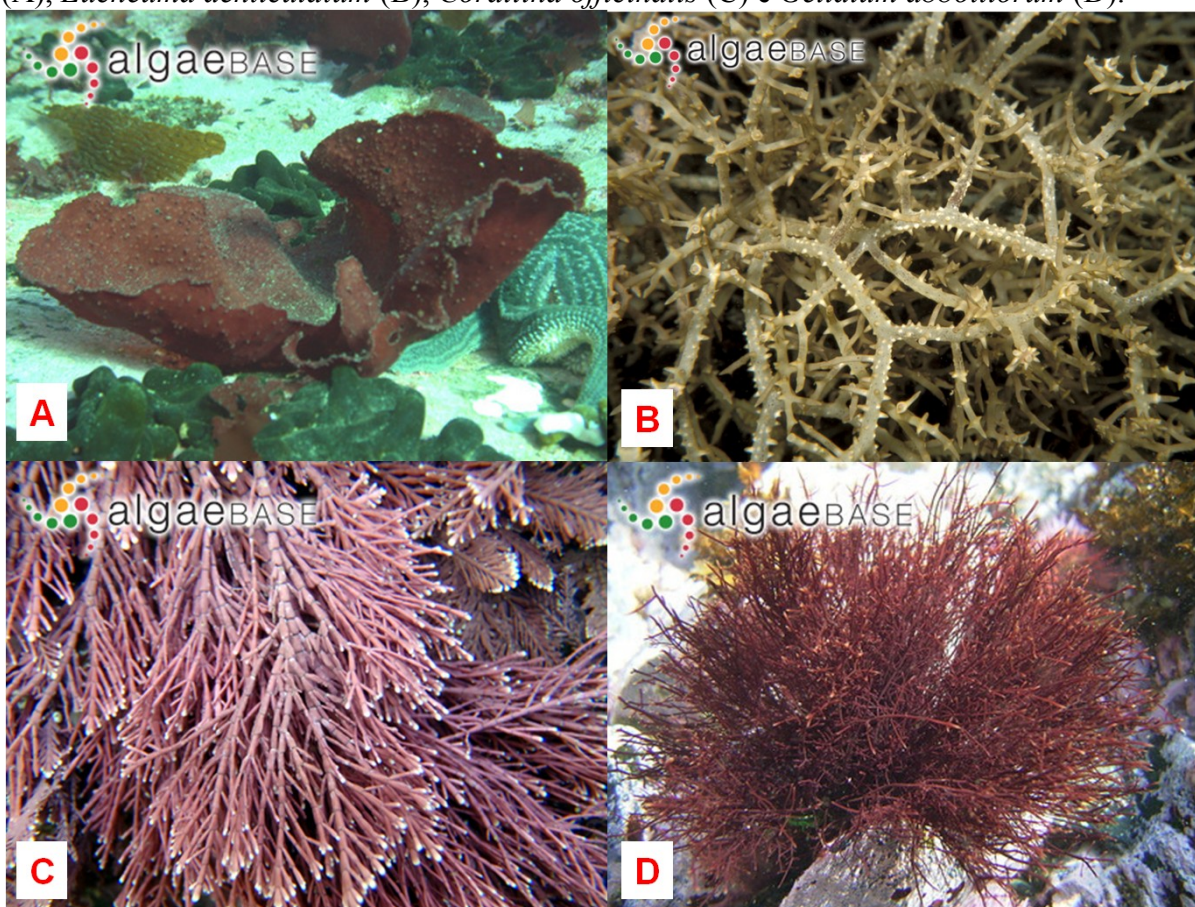
As algas vermelhas (filo Rhodophyta), com cerca de 6000 espécies, são quase que unicamente pluricelulares e marinhas (típicas em mares quentes) (VASCONCELOS; ARAÚJO; SANTANA, 2015), este grupo de algas teve uma evolução mais diversificada do que as verdes e as marrons. A cor vermelha que as caracteriza é dada pelo pigmento ficoeritrina, possuem clorofilas a e d e carotenóides, e armazenam amido como material de reserva (VIDOTTI; ROLLEMBERG, 2004). Muitas espécies não suportam a dessecação e

predominam nas piscinas naturais formadas pelas rochas nas zonas entre marés, no entanto, as espécies que toleram a dessecação, podem ser encontradas em praias rochosas (KILINÇ et al., 2013).

Kilinç et al. (2013) ainda complementam comentando que entre os diversos gêneros de importância deste grupo de algas destacam-se as *Corallinaceae* e *Gigartinaceae*, por serem as que respondem pela maior quantidade de biomassa produzida em todo mundo entre as algas vermelhas; a *Eucheuma* utilizada na produção de carragena; as *Gelidium*, *Gracilaria*, *Pterocladis* entre outras, de onde é extraído o agar-agar, o qual, junto com a carragenana são alguns dos co-produtos extraídos das algas com várias aplicações biotecnológicas e alimentares, os quais serão comentados com mais detalhes adiante.

Na Figura 1 estão expostas algumas imagens de exemplares das espécies *Gigartina skottsbergii*, *Eucheuma denticulatum*, *Corallina officinalis* e *Gelidium abbottiorum* para exemplificar as macroalgas do grupo das algas vermelhas.

Figura 1 – Exemplares de macroalgas do grupo das algas vermelhas *Gigartina skottsbergii* (A), *Eucheuma denticulatum* (B), *Corallina officinalis* (C) e *Gelidium abbottiorum* (D).



Fonte: Algaebase (2017).

Dentre as diversas algas com interesse para aquicultura, será destaca aquela que foi a espécie utilizada como objeto de estudo da presente tese, desta forma a seguir estão citadas algumas informações mais detalhadas acerca desta.

3.1.1 *Gracilaria birdiae* Plastino & Oliveira, 2002

Após reunir uma série de dados, incluindo caracteres vegetativos e reprodutivos, bem como a demonstração do isolamento reprodutivo entre *Gracilaria birdiae* e a *Gracilaria caudata*, Plastino & Oliveira (2002) apontaram a *G. birdiae* como uma nova espécie, que provavelmente é endêmica da costa brasileira, pois antes estas eram identificadas como uma única espécie, *G. caudata*.

Algas da espécie *Gracilaria birdiae*, apresentam talo cilíndrico e conceptáculos espermatangiais do tipo *henriquesiana*, sendo frequentemente encontrada sobre substratos duros, e mais comumente encontrada na região de mediolitoral e infralitoral, principalmente na costa da região Nordeste do Brasil, no entanto, sua distribuição se dá desde o Estado do Ceará até o limite Sul do Estado do Espírito Santo (BEZERRA, 2008; COSTA; PLASTINO, 2001; PLASTINO; OLIVEIRA, 2002).

Na Figura 2 está exposta a síntese da classificação taxonômica da macroalga *Gracilaria birdiae*.

Figura 2 - Síntese da classificação taxonômica da macroalga *Gracilaria birdiae* Plastino & Oliveira, 2002.

Reino *Plantae*

Subreino *Biliphyta*

Filo *Rhodophyta*

Subfilo *Eurhodophytina*

Classe *Florideophyceae*

Subclasse *Rhodymeniophycidae*

Ordem *Gracilariales*

Família *Gracilariaceae*

Gênero *Gracilaria*

Espécie *Gracilaria birdiae*

Fonte: Algaebase (2017).

Na Figura 3 observam-se duas imagens onde é possível ver o ato de coleta no banco natural de algas de “arribada”, que são aquelas atiradas à praia naturalmente pela força da maré durante seus ciclos naturais, pelos integrantes das comunidades locais; e a aparência da macroalga *Gracilaria birdiae in natura* coletada nestes bancos, as quais podem ser utilizadas para a secagem, manufatura e comercialização, ou mesmo para realizar a produção de mudas para o cultivo.

Figura 3- Ato de coleta no banco natural (A) a aparência da macroalga *Gracilaria birdiae* coletada (B).



Fonte: Próprio autor.

Entre as diferentes espécies testadas para o cultivo, as algas vermelhas do gênero *Gracilaria* mostraram ser candidatas interessantes, por sua capacidade de armazenar nutrientes, alcançar alta biomassa e produzir produtos de valor econômico. As espécies de *Gracilaria* são algas muito versáteis, tendo valor comercial por diversos motivos, dentre os quais salienta-se: que são eficientes na retirada de nutrientes da água, agindo como filtros biológicos; são utilizados como alimento para humanos; são utilizados na fabricação de fertilizantes; e para a extração de colóides (agar-agar) (MARINHO-SORIANO et al., 2009) utilizados nas indústrias alimentícia e cosmética.

Tradicionalmente, o cultivo dessas macroalgas é realizado através de propagação vegetativa em estruturas chamadas *long-line*. O modelo é constituído por uma corda principal onde são penduradas cordas secundárias. Para a sua instalação em mar, as extremidades são fixadas através de blocos de concreto (poitas) para evitar ou minimizar danos durante o cultivo (ARAUJO; RODRIGUES, 2011; CARVALHO-FILHO, 2004). Nos itens a seguir descrever-se-ão algumas informações importantes acerca da produção mundial de macroalgas, as tecnologias de cultivo e seus usos.

3.2. Produção de Macroalgas no Mundo

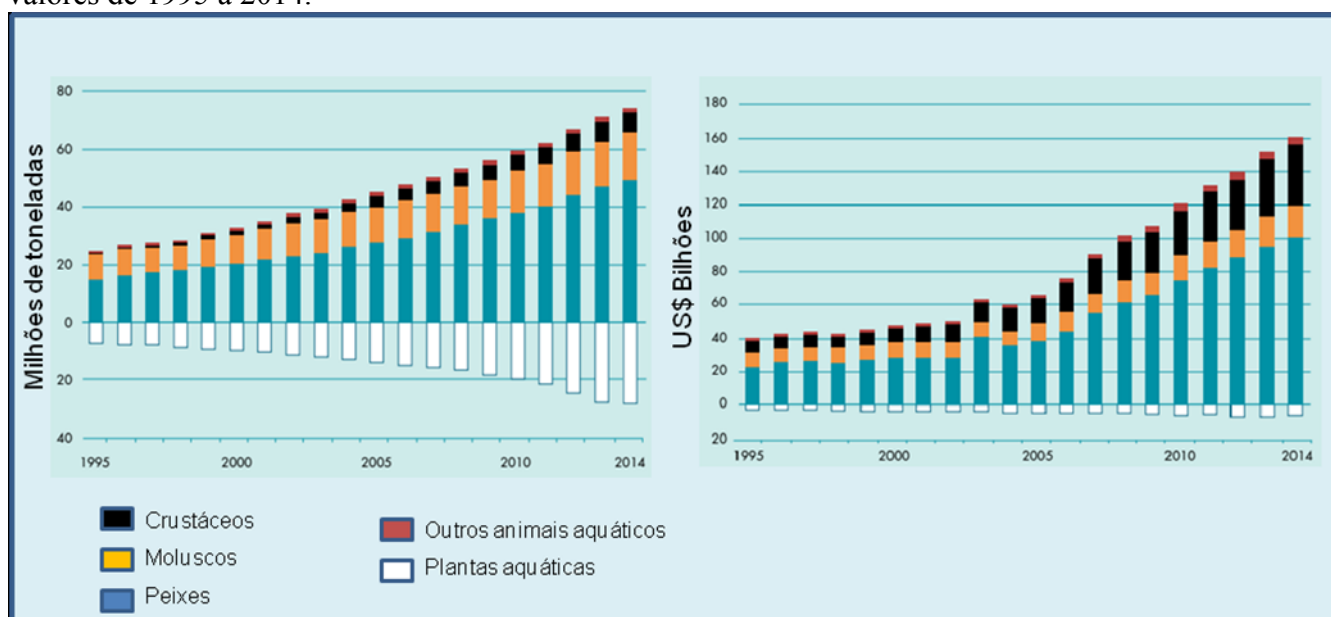
Segundo os relatos de Chopin & Sawhney (2009), acredita-se que o cultivo de macroalgas tenha sido iniciado no Japão durante a era Tokugawa (ou período Edo; 1600-1868 DC), estes autores explicam que a maricultura de qualquer espécie se desenvolve quando as demandas da sociedade ultrapassam a capacidade que os recursos naturais podem oferecer, o que resulta na sobre-exploração destes recursos, surgindo a necessidade de cultivo das espécies apropriadas, tanto que estima-se que atualmente, 92% do suprimento mundial de algas é proveniente de espécies cultivadas.

Segundo a FAO (2016), no documento denominado "The State of World Fisheries and Aquaculture com dados de 2014, a produção mundial de pescado, incluído as plantas aquáticas, em 2014 chegou a 101,1 milhões de toneladas em peso úmido o que gerou um valor em torno de US\$ 165,8 bilhões. Neste mesmo ano as plantas aquáticas responderam por aproximadamente 27,3 milhões de toneladas, o que correspondeu a US\$ 5,6 bilhões. Estes números apontam que em volume os peixes correspondem a $\frac{3}{4}$ do total produzido pela aquicultura enquanto as plantas aquáticas correspondem a $\frac{1}{4}$, no entanto quando se compara os resultados relacionados aos valores, tem-se que as plantas aquáticas respondem por apenas a 5,0%, isto indica que estas ainda são comercializadas por preços muito baixos.

Se estas informações forem avaliadas de forma desatenta, pode levar a uma redução da importância da produção de algas para o mercado mundial, no entanto, é necessário chamar atenção para importância de se avaliar o valor obtido pelos co-produtos extraídos das algas, os quais apresentam considerável valor econômico, tecnológico e científico, sendo amplamente utilizado pelas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética, posteriormente este assunto será abordado com mais detalhes.

Na Figura 4 é possível observar a evolução da produção mundial de plantas e animais proveniente da aquicultura de 1995 a 2014, onde é possível perceber o aumento da produção de algas no mercado mundial principalmente na última década. Observa-se que a produção de alga é maior, e cresce em ritmo mais acelerado, que a de moluscos, crustáceos e outros animais, perdendo apenas para a produção de peixes. Porém em relação aos valores, como anteriormente citado, é necessária uma avaliação mais cuidadosa.

Figura 4 – Produção mundial de animais e plantas aquáticas oriundas da aquicultura em volume e valores de 1995 a 2014.



Adaptado de FAO (2016).

Em relação aos dados de produção apresentados neste gráfico, a FAO (2016) explica em seu documento que, das plantas aquáticas cultivadas, o grupo com maior representatividade em termos de volume é o das macroalgas, as quais são cultivadas em cerca de 50 países, com crescimento de 8,0% ao ano na última década, tendo a produção mais do que duplicado neste período (FAO, 2016). Na Tabela 1 é possível observar a evolução da produção das principais espécies de plantas cultivadas no mundo de 2005 a 2014, onde se verifica que entre as principais espécies citadas apenas uma não era de macroalga (*Spirulina* spp.).

Tabela 1 – Evolução da produção mundial de plantas aquáticas cultivadas de 2005 a 2014.

ESPÉCIES DE PLANTAS AQUÁTICAS	Produção (milhões de toneladas)			
	2005	2010	2013	2014
<i>Kappaphycus alvarezii</i> e <i>Eucheuma</i> spp.	2.444	5.629	10.394	10.992
<i>Laminaria japonica</i> *	4.371	5.147	5.942	7.655
<i>Gracilaria</i> spp.	936	1.696	3.463	3.752
<i>Undaria pinnatifida</i>	2.440	1.537	2.079	2.359
<i>Porphyra</i> spp.	1.287	1.637	1.861	1.806
<i>Sargassum fusiforme</i>	86	78	152	175
<i>Spirulina</i> spp.**	48	97	82	86
Outras plantas aquáticas	1.832	3.172	2.895	482
TOTAL	13.504	18.993	26.868	27.307

Adaptado de FAO (2016). *Sinônimo *Saccharina japonica*; **Microalga.

O cultivo de algas tem grande potencial produtivo e econômico nas costas das regiões tropical e subtropical de todo o planeta, sendo esta atividade praticada principalmente na Ásia e em alguns pontos da América do Sul e Sudeste da África (SORIANO, 2005). São diversos os exemplos que podem ser citados a redor do mundo, dentro dos quais alguns estão descritos a seguir:

Veeragurunathan et al. (2015) mostraram que na Índia a indústria de agar vem sofrendo um encolhimento devido a redução da oferta das algas coletadas nos bancos naturais e, conseqüente aumento de preço, sendo as algas de origem aquícola uma alternativa para o reaquecimento do mercado, pois as empresas de grande porte voltarão a crescer e, por sua vez, aumentarão a oferta de empregos. Estes mesmos autores também indicam como alternativa para aumentar o rendimento dos maricultores de pequena escala a rotação de cultivo, pois os períodos de melhor rendimento de *Gracilaria dura* intercalam com os da *Kappaphycus alvarezii*, proporcionando produção durante todo o ano.

De forma ainda mais avançada, impulsionados pela cultura do uso de produtos aquáticos em sua alimentação, os países asiáticos tendem a procurar ainda mais alternativas para suprir a crescente demanda. Wu et al. (2015) indicaram como alternativas tecnológicas para garantir o aumento da produtividade o uso de técnicas como a aquicultura integrada multi-trófica (IMTA, sigla do inglês: *integrated multi-trophic aquaculture*), como exemplo destas técnicas estes autores demonstraram o cultivo consorciado da macroalga *Gracilaria chouae* com o peixe marinho *Sparus macrocephalus* realizado na China.

Tecnologia semelhante a esta também vem sendo utilizada na Malásia, onde a integração é realizada entre o cultivo de camarão marinho *Pennaeus monodon* e as macroalgas *Gracilaria edulis* e *Ulva lactuca*, desta forma aumentando a produção e realizando a biorremediação dos efluentes da carcinicultura, fato que também aumenta a sustentabilidade da atividade (LAVANIA-BALOO et al., 2014).

Segundo Sepulveda (2016), a alga *Kappaphycus alvarezii* vem sendo cultivada em diversos países da América Central, citando o Panamá, Equador, Santa Lúcia, Belize, San Vicente, Trinidad Tobago, Granadinas e México, ainda que os cultivos ainda sejam poucos expressivos, sendo a produção familiar e processada localmente ou exportada, ainda assim recebendo incentivos governamentais destes países para o fortalecimento da cadeia produtiva.

A importância e a potencialidade do cultivo das macroalgas tem sido observado em diversas áreas, e nos mais diversos países, sejam para preservar os bancos naturais de algas seja para explorá-las nos setores já estabelecidos, ou mesmo prospectando esse recurso para novos usos.

No Chile, por exemplo, segundo Buschmann et al., (2001) e Romo et al. (2006) os bancos naturais de algas vem sofrendo grave redução devido a exploração para utilização na indústria local de carragenana e outros produtos, dentre as espécies utilizadas estão: *Sarcothalia crispata*, *Mazzaella laminarioides*, *Gigartina skottsbergii* e *Chondracanthus chamissoi*; este fato justifica o desenvolvimento da produção aquícola destas espécies.

Tabassum, Xia & Murphy (2017) recentemente realizaram uma revisão do conhecimento existente sobre o uso das macroalgas para produção de biocombustíveis na Irlanda, onde a abordagem escolhida pelos autores era avaliar o potencial da exploração dos abundantes bancos naturais de algas daquela região, mas já contando com a aquicultura como alternativa para garantir a preservação dos estoques naturais, consequentemente, assegurando a sustentabilidade dessas indústrias nascentes.

Foram citadas algumas iniciativas e alternativas da exploração e produção das macroalgas em várias partes do mundo, da mesma forma, no Brasil, as iniciativas acerca do cultivo de macroalgas vêm sendo desenvolvidas no decorrer das ultimas décadas. No item a seguir serão descritas algumas destas iniciativas.

3.2.1 Produção de Macroalgas no Brasil

O cultivo de macroalgas pode ser realizado com o emprego de técnicas simples e baratas, aproveitando as condições edafoclimáticas favoráveis características regionais, podendo ser aproveitado o conhecimento das comunidades locais que já trabalham com a extração das algas dos bancos naturais, promovendo melhoria na qualidade de vida nestas comunidades, principalmente ao considerar o engajamento das mulheres na atividade (CARVALHO-FILHO, 2004).

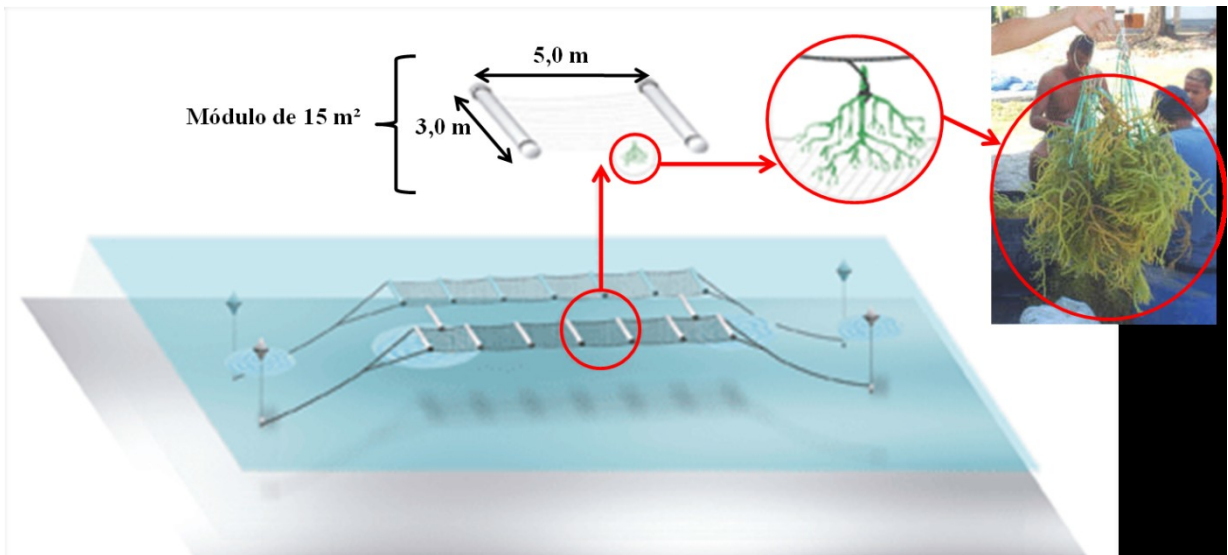
Segundo Reis, Bastos & Góes (2007) e Sepulveda (2016) um clone de origem japonês da macroalga *Kappaphycus alvarezii* foi introduzida no Brasil para cultivo em escala experimental no ano de 1995 em Ubatuba, litoral de São Paulo (SP), com a justificativa de buscar uma alga com potencial para cultivo, devido não haver uma espécie nativa com tal característica. Em 1998, foi trazido outro clone da mesma espécie, desta vez de origem venezuelano, para experimentos em Ilha Bela, Rio de Janeiro (RJ), como objetivo de testar a viabilidade do cultivo em escala piloto.

Esta espécie se adaptou bem as condições do litoral sudeste do Brasil e, mais atualmente, vem sendo utilizada na região sul, no litoral de Santa Catarina (SC), estando o

desenvolvimento neste estado, como o crescimento no RJ e SP limitado pela liberação de licenças ambientais (SEPULVEDA, 2016).

Para o cultivo da *K. alvarezii* no Brasil utiliza-se a estrutura conhecida como balsa de cultivo, a qual é constituída por um conjunto de canos de PVC com diâmetro de 100 mm e 3,0 metros de comprimento, vedados em suas extremidades, funcionando como flutuadores conectados entre si por meio de cabos de polipropileno, a área total das balsas é de 450 m² (150 m x 3,0 m) divididas em 30 módulos de 15 m² (3,0 m x 5,0 m), fixadas por meio de poitas (ancoras) (REIS; BASTOS; GÓES, 2007; SEPULVEDA, 2016). Na Figura 5 está exposto um modelo ilustrativo simplificado das balsas de cultivo anteriormente descritas.

Figura 5 – Modelo simplificado das balsas utilizada no cultivo da macroalga *Kappaphycus alvarezii* no Brasil.



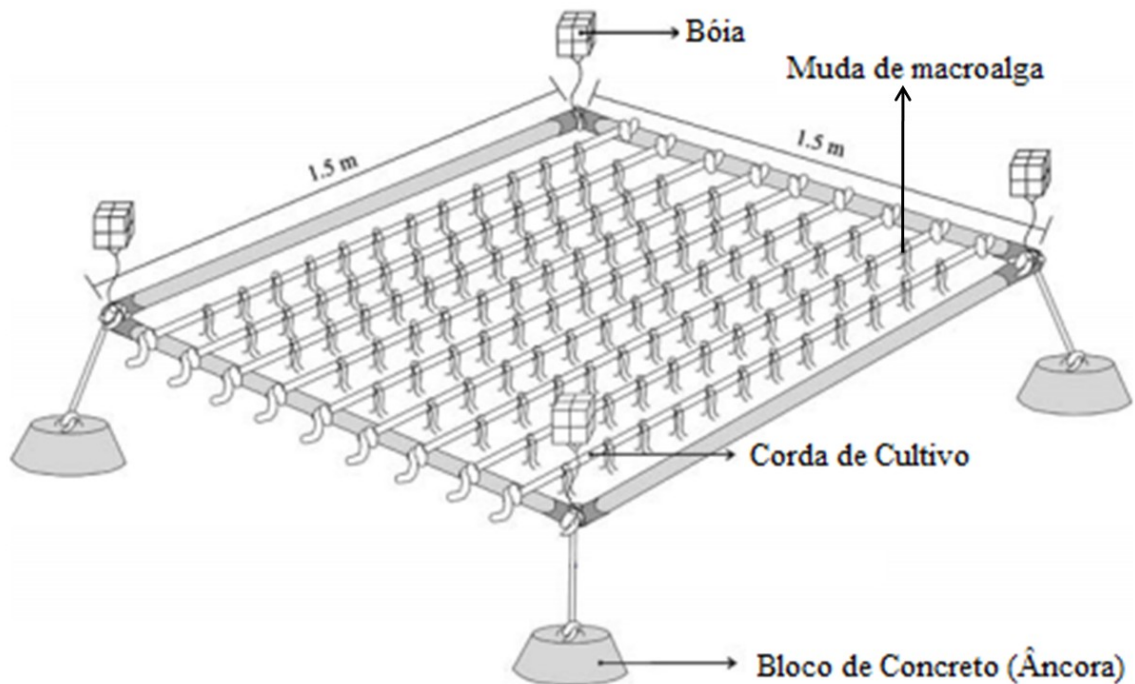
Adaptado de Reis, Bastos & Góes (2007) e Sepulveda (2016).

Além destas iniciativas de cultivo acima descritas, existem também aquelas realizadas na região Nordeste (NE) do Brasil, que segundo Carvalho-Filho (2004) o cultivo de algas marinhas em pequena escala no litoral do NE, iniciado em 1998 por intermédio da FAO, é uma tentativa de integrar o pescador na maricultura, para com isso evitar que estes se afastem das atividades relacionadas com o mar.

Segundo Araújo (2013) no estado da Paraíba (PB), a introdução da *K. alvarezii* ocorreu no início da década de 2000, no município de Pitimbu, litoral sul do Estado e atualmente esta espécie é cultivada em escala familiar por pescadores locais. Apesar deste exemplo, a maioria das iniciativas de cultivo de macroalgas é realizado, com algas da família Gracilaria, dentre as quais estão a *G. cornea* e, principalmente, a *G. birdiae*.

Marinho-Soriano, Moreira & Carneiro (2006) utilizaram estrutura de “mesas” para realizar o cultivo de *G. birdiae* no estuário do Rio Curimatau, localizado no Estado do Rio Grande do Norte (RN), onde as algas foram cultivadas em seis módulos formados cada um por uma estrutura quadrada de cano de PVC de 2,25 m² (1,5 x 1,5 m), suspensos horizontalmente a 0,3 m de profundidade, em cada canto da estrutura havia boias e blocos de concreto para sua estabilização, as mudas eram fixadas na torção da corda a cada 10 cm. Bezerra & Marinho-Soriano (2010) também utilizaram estrutura de “mesas” semelhantes a estas para realizar o cultivo da mesma espécie nos estuários do Rio do Fogo (RN), em dois módulos de 4,0 m². Na Figura 6 está exposto um modelo ilustrativo simplificado das mesas de cultivo anteriormente descritas.

Figura 6 – Modelo simplificado das mesas utilizada no cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* no estuário do Rio Curimatau, localizado no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil.

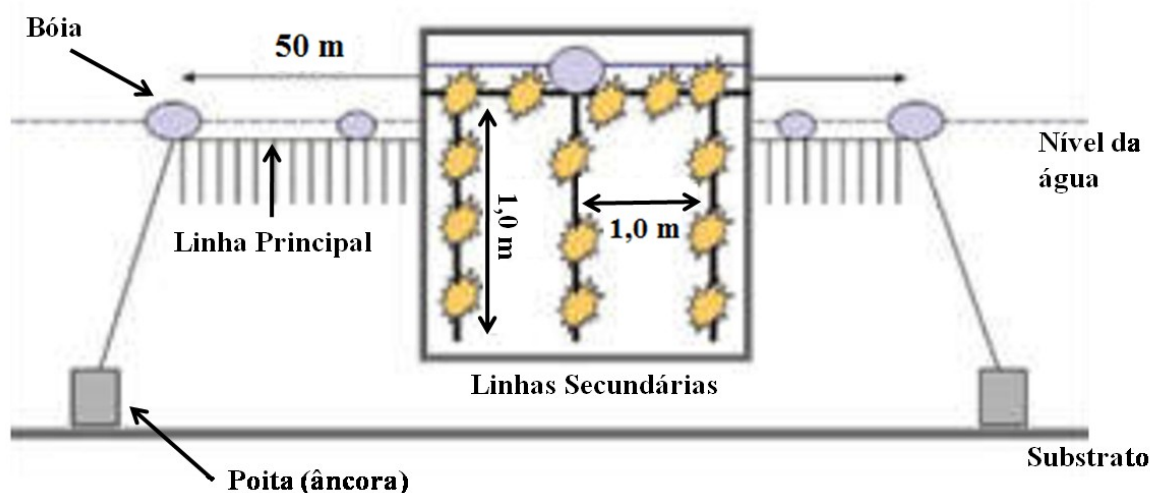


Adaptado de Marinho-Soriano, Moreira & Carneiro (2006)

Segundo Carvalho-Filho (2004) na Praia de Flecheiras e Guajirú, ambas localizadas no município de Trairí, litoral oeste do Estado do Ceará, Brasil, as famílias que fazem parte da Associação de Produtores de Algas das Flecheiras e Guajirú (APAFG) utilizam módulos de produção compostos por 12 estruturas para cultivo de macroalgas do tipo *long line* cada uma, formada por uma linha principal de 50 metros (horizontal), de onde derivam 50 linhas secundárias de 1,0 metro (vertical) com chumbadas nas pontas para que fiquem esticadas. Nas secundárias são fixadas as mudas das macroalgas *G. birdiae* a cada 20 cm,

presas com fitas de nylon. Na Figura 7 está exposto um modelo ilustrativo simplificado das estruturas cultivo tipo *long line* anteriormente descritas.

Figura 7 – Modelo de estrutura para cultivo de macroalgas do tipo *long line* comumente utilizado na região nordeste do Brasil.



Adaptado de Carvalho-Filho (2004).

Na literatura a diversos relatos do uso desta tecnologia nos cultivos realizados na região NE, dentre estes, além dos relatos de Carvalho-Filho (2004) *op cit.*, destacam-se: Soriano (2005) que cita o cultivo da *G. birdiae* na Praia de Pititinga-RN; Accioly (2005) o cultivo de *G. cornea* na comunidade de Barra dos Carvalhos, na região do Baixo Sul Baiano, no Estado da Bahia (BA), Brasil; Araujo & Rodrigues (2011) cultivando *G. birdiae* na Praia da Barrinha, município de Icapuí, localizado no extremo leste do Estado do Ceará.

Além das tecnologias utilizadas para o cultivo de macroalgas até então citadas neste documento, mais alguns detalhes acerca deste tema merecem destaque, no item a seguir seguem mais algumas considerações relevantes a este assunto.

3.3 Tecnologias Utilizadas no Cultivo de Macroalgas

Dependendo da espécie selecionada, sua biologia, ciclo vital, nível de especialização tecidual e da situação socioeconômica da região em que a atividade é desenvolvida, é possível utilizar diferentes tecnologias (CHOPIN; SAWHNEY, 2009).

É importante citar que o nível tecnológico aplicado não tem relação direta com o sucesso do cultivo, a relação existente é com o rendimento que este cultivo pode alcançar. Segundo Chopin & Sawhney (2009) um cultivo de algas pode ser de baixa tecnologia e ainda

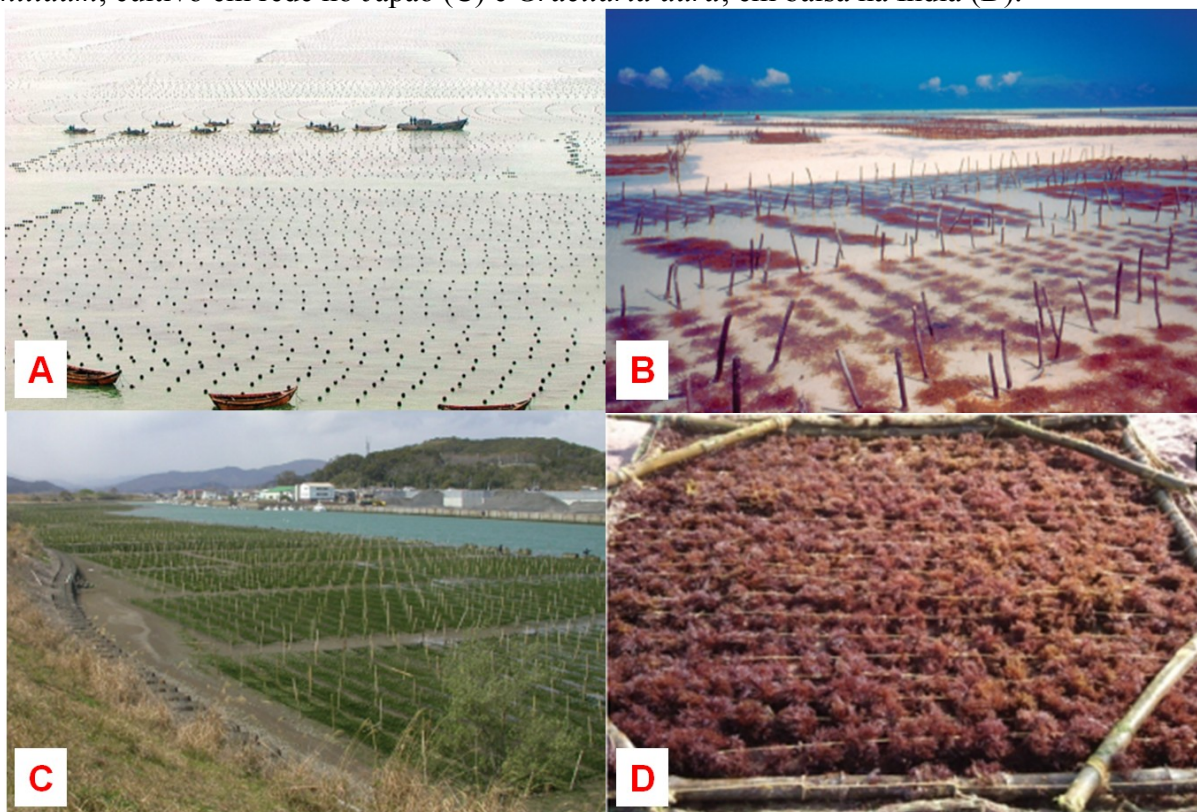
assim ser extremamente bem-sucedido, com técnicas altamente eficientes e simples, utilizando mão-de-obra de baixo custo.

O documento da FAO intitulado de Guia da Indústria da Alga, da tradução livre do inglês *A guide to the seaweed industry*, McHugh (2003) explica de forma bem simplificada os métodos de cultivo de macroalgas de baixa tecnologia da seguinte forma:

Os fragmentos das macroalgas podem ser amarrados a cordas longas (*long lines*) suspensas na água entre estacas de madeira ou amarradas a cordas em uma estrutura de madeira flutuante (balsa); podendo ser usadas redes em vez de cordas; em alguns casos, as algas são simplesmente colocadas no fundo lagoas naturais e não são fixadas de nenhuma maneira; em águas mais abertas, algumas espécies de algas são parcialmente enterradas no sedimento macio (arenoso) no fundo do mar com uma ferramenta semelhante a uma forquilha, ou presas a tubos plásticos fixados no fundo arenoso (McHUGH, 2003).

Na Figura 8, pode ser observado o cultivo de quatro diferentes espécies de macroalgas em quatro diferentes tecnologias de cultivo simples, sem elevado nível tecnológico: *Laminaria japonica*, ou *Saccharina japonica* (kombu), em *long line* na China; *Eucheuma denticulatum*, com linha de fundo em Zanzibar; *Monostroma nitidum*, com cultivo em rede no Japão; e *Gracilaria dura*, em sistema de balsa na Índia.

Figura 8 – Diferentes técnicas de cultivo das macroalgas: *Laminaria japonica** (kombu), *long line* na China (A), *Eucheuma denticulatum*, linha de fundo em Zanzibar (B), *Monostroma nitidum*, cultivo em rede no Japão (C) e *Gracilaria dura*, em balsa na Índia (D).



Fonte: Chopin & Sawhney (2009) (A, B e C); Veeragurunathan et al. (2015) (D). *Sinônimo *Saccharina japonica*.

Assim como os cultivos de macroalgas podem adotar tecnologias altamente avançadas e mecanizadas, sendo necessárias instalações de cultivo em terra para a produção das “sementes” e das fases iniciais do ciclo de vida, para então ser realizado a fase final de crescimento nas estruturas de cultivo em mar aberto (CHOPIN; SAWHNEY, 2009).

Na Figura 9 estão mostrados três cultivos de macroalgas em estruturas construídas no continente com uso de tecnologias mais avançadas, um o para cultivo de *Chondrus crispus* no Canadá, outro para o cultivo de *Laminaria* sp. nos EUA e o último para cultivar *Gracilaria* sp. e *Ulva lactuca* em Israel.

Figura 9 - Cultivos de macroalgas em estruturas construídas no continente para cultivo de *Chondrus crispus* no Canadá (A), de *Laminaria* sp. nos EUA (B) e de *Gracilaria* sp. e *Ulva lactuca* em Israel (C).



Fonte: Chopin & Sawhney (2009) (A); www.nmfs.noaa.gov (B); www.seakura.net (C).

Um exemplo de cultivo em um nível tecnológico intermediário é o que está sendo realizado no Equador com o policultivo da *Kappaphycus alvarezii* em viveiros de cultivo de camarão *Litopenaeus vannamei*. São realizados os cultivos da macroalgas em estacas ou monolinhas no interior dos viveiros de cultivo de camarão (SEPULVEDA, 2016). Na Figura 10 é possível observar imagens destas técnicas de policultivo.

Figura 10 – Policultivo da macroalga *Kappaphycus alvarezii* em viveiros de cultivo de camarão *Litopenaeus vannamei* no Equador, realizado em sistema de estacas (A e B) e monolinhas (C).



Fonte: Sepulveda (2016).

3.4 Aplicações e Usos das Macroalgas

Há uma grande multiplicidade de espécies de algas com aplicações diversificadas em vários países no mundo, na indústria alimentícia e farmacêutica, cosmética, agricultura, tendo como co-produtos de grande interesse os polissacarídeos sulfatados, dentre os quais os que apresentam maior interesse são: as carragenanas, as agaranas, os alginatos e as fucanas (VASCONCELOS; ARAÚJO; SANTANA, 2015).

Vasconcelos; Araújo; Santana (2015) explicam que os polissacarídeos são polímeros de carboidratos que podem ser formados de um tipo único de monossacarídeos ou

de diferentes tipos, dentre os quais aqueles oriundos de algas vêm se destacando devido às suas atividades biológicas e sua abundância nos organismos marinhos.

Nas algas vermelhas, encontram-se as galactanas sulfatadas, que atualmente tem despertado o interesse de vários pesquisadores; das algas marrons extraem-se as fucanas (homofucanas) e os fucoidanos (heterofucanas); as algas verdes apresentam polissacarídeos sulfatados mais heterogêneos que são ricos em galactose, manose, xilose, arabinose, glicose e ou ácidos urônicos (ROCHA et al., 2004).

No Brasil, o cultivo de macroalgas tem como objetivo obter dois produtos o agar-agar e a carragena, que são hidrocolóides largamente utilizado na indústria alimentícia, estes co-produtos são extraído de diversos gêneros e espécies de macroalgas vermelhas. O agar-agar é extraído da classe *Rhodophyta*, as denominadas agarófitas, com destaque para as do gênero *Gracilaria*; já as carragenas (kappa, iota, e lambda) são extraídos das macroalgas dos gêneros *Gigartina*, *Hypnea*, *Eucheuma*, *Chondrus* e *Iridaea* (CARVALHO-FILHO, 2004).

Esse mesmo autor complementa explicando que o agar-agar é utilizado como aditivo principalmente em produtos lácteos, confeitaria, patês, panificação e nas indústrias de bebida e farmacêutica; já as carragenas são utilizadas na indústria alimentícia como espessante, gelificante, agente de suspensão e estabilizante, tanto em sistemas aquosos como em sistemas lácteos.

Oliveira et al. (2009) e Gressler et al. (2010) explicam que as algas são recursos naturais ricos em carboidratos, proteínas, vitaminas e minerais, desta forma é interessante avaliar a possibilidade de sua utilização como fonte alternativa de alimento, substituindo, pelo menos parcialmente, as fontes de alimento tradicionais, considerando que estas são mais caras que as algas.

Estes mesmos autores completam apontando alguns benefícios do consumo das algas para a saúde, pois são fontes de fibras importantes que reduzem a ocorrência de doenças crônicas como diabetes, obesidade, doenças cardíacas e cânceres, que estão associados às dietas de baixa fibra dos países ocidentais. Souza et al. (2012) complementam apontando os polissacarídeos sulfatados extraídos da *G. birdiae* também como um agente antioxidante promissor para a aplicação na indústria de alimentos.

Alguns produtos extraídos de algas também são utilizados na alimentação animal, inclusive na própria aquicultura, Wongprasert, Rudtanatip & Praiboon (2014) relata o uso do β -1,3-glucano na alimentação de camarões marinhos cultivados, sendo este o imunestimulante o que mais vem sendo utilizado, assim como o de maior efetividade no combate da doença provocada pelo Vírus da Síndrome da Mancha Branca (WSSV, da sigla

em inglês *White Spot Syndrome Virus*), considerado um patógeno de alta virulência, o qual vem causando impactos econômicos significativos na carcinicultura mundial.

Lavania-Baloo et al. (2014) recomendaram que os sistemas de recirculação para o cultivo de camarão marinho utilizem as macroalgas *G. edulis* e *U. lactuca* como componentes dos biofiltros para retirada de amônia da água, enfatizando que nos sistemas que utilizaram as macroalgas o crescimento dos camarões foi até 30% maior que nos que não utilizaram, como benefício acessório desta técnica ainda houve o crescimento da biomassa das macroalgas, as quais podem ser uma fonte de renda extra para o empreendimento, estas mesmas conclusões foram propostas por (MARINHO-SORIANO et al., 2009) utilizando a *G. birdiae* o que reforça a potencialidade das macroalgas para tal uso.

Semelhantemente a este uso, mas com a aplicação de maneira específica, Wu et al. (2015) recomendaram o cultivo consorciado da macroalga *G. chouae* com o peixe marinho *Sparus macrocephalus* em mar aberto, promovendo benefício recíproco para as duas espécies e para o meio ambiente, pois as algas retiram os nutrientes oriundos dos resíduos do cultivo dos peixes o que promove o crescimento destas, realizando a biofiltração da água, promovendo a melhoria ambiental e, como consequência, o aumento na taxa de crescimento dos peixes.

Em resumo, a co-cultura de *G. chouae* com *S. macrocephalus* provou ser um meio eficaz para diminuir a concentração de nutrientes nas águas da cultura de peixes na área de estudo. *G. chouae* apresentou alta eficiência de redução de nutrientes e uma taxa de crescimento rápido quando co-cultivada com *S. macrocephalus* e deve ser capaz de equilibrar os nutrientes produzidos pela cultura de peixe no sistema IMTA quando semeados na proporção de co-cultivo ideal.

Além dos usos da macroalgas como tratamento de efluentes da aquicultura aqui citados, Kim, Kraemer & Yarish (2014) incentivaram o cultivo de macroalgas em águas costeiras próximas a zonas urbanas para que estas atuem como biorremediadores destes ambientes, pois estas algas realizam a biofixação dos nutrientes provenientes da ação antrópica. Estes autores ainda apontam a potencialidade das macroalgas no sequestro de nutrientes pode ser economicamente explorado pelo mercado de créditos de carbono.

Na Tabela 2 estão expostos alguns dos principais produtos da indústria mundial de indústria dos co-produtos derivados das macroalgas no ano de 2006.

Tabela 2 – Biomassa, produtos e valores que compõem a indústria mundial de derivados de algas no ano de 2006.

Produtos industriais	Peso úmido (Ton)	Produto (Ton)	Valor (US\$)
Vegetais aquáticos	8,59 milhões	1,42 milhão	5,29 bilhões
Kombu (<i>Laminaria</i> *)	4,52 milhões	1,08 milhão	2,75 bilhões
Nori (<i>Porphyra</i>)	1,40 milhão	141.556	1,34 bilhões
Wakame (<i>Undaria</i>)	2,52 milhões	166.320	1,02 bilhões
Phycocolóides	1,26 milhão	70.630	650 milhões
Carragenanas	528.000		
Alginatos	600.000		
Agar	127.167		
Phycosuplementos	1,22 milhão	242.600	53 milhões
Aditivos para o solo	1,10	220.000	30 milhões
Químicos agrícolas (fertilizantes, bioestimulantes)	20.000	2.000	10 milhões
Alimentação animal (suplementos, ingredientes)	100.000	20.000	10 milhões
Farmacêuticos, cosméticos, pigmentos, compostos bioativos, entre outros.	3.000	600	3,0 milhões

Adaptado de Chopin; Sawhney (2009). * Sinônimo *Saccharina japônica*.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Delineamento Experimental

A metodologia da presente pesquisa constou da implantação de dois cultivos pilotos da macroalga *Gracilaria birdiae*, em dois diferentes locais da Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil, onde foram realizados os monitoramentos de indicadores ambientais, assim como avaliações dos indicadores de rendimento de cultivo. De posse desses dados foi proposto o Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) como uma ferramenta para auxiliar na prospecção de áreas para implantação dos cultivos. No intuito de tornar viável o uso do IAA foi desenvolvido um aplicativo para dispositivos móveis para uso em campo.

4.2 Cultivos Experimentais da Macroalga *Gracilaria birdiae*

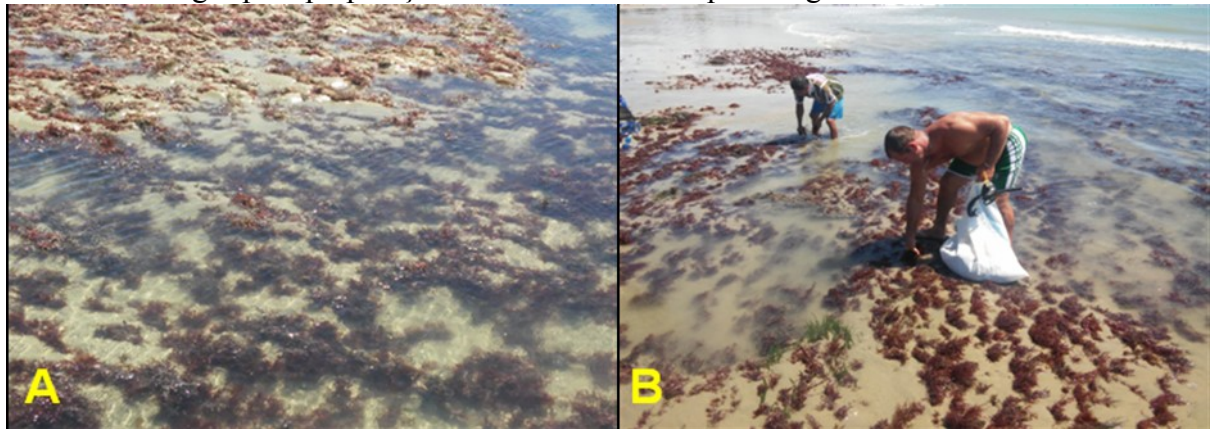
Para descrição da metodologia utilizada para o cultivo experimental será utilizada a seguinte sequência: 1) Descrição do processo de coleta das algas para preparação das mudas, 2) descrição dos locais onde foram realizados os cultivos, 3) descrição da técnica de cultivo utilizado e 4) descrição dos indicadores de desempenho assumidos para esta fase da pesquisa.

4.2.1 Coleta de algas para preparação das mudas

A coleta das algas utilizadas para preparação das mudas foi realizada no banco natural de algas localizado na Praia de Flecheiras (03°13'59"S; 39°16'08"W), situada no município de Trairi-CE, Brasil. Segundo Chaves et al. (2012) na praia de Flecheiras o banco de algas forma uma linha paralela a costa e forma uma área de 6.000 m², sendo povoado por espécies pertencentes à divisão Rodophyta, Phacophyta e Chlorophyta, as quais ficam fixas a substratos inconsolidados e principalmente em substratos rochosos.

Na Figura 11 estão expostas duas imagens que demonstram o banco natural de algas e a atividade de coleta realizada com o auxílio de integrantes da comunidade local da Praia de Flecheiras.

Figura 11 – Banco natural de algas da Praia das Flecheiras, Trairi-CE, Brasil (A) e a atividade de coleta das algas para preparação da mudas realizada por integrantes da comunidade local.



Fonte: Próprio autor

4.2.2 Locais de cultivo

Os cultivos experimentais foram realizados em duas localidades, que apesar de próximas, apresentam características edafoclimáticas distintas, para assim verificar se estas diferenças iriam afetar o rendimento dos cultivos, a saber, os locais foram: a Praia da Lagoa da Volta e Praia da Volta do Rio; ambas no município de Acaraú, o qual está situado na Região da Costa Negra, Estado do Ceará, Brasil. Na Figura 12 é possível observar um mapa do litoral do Estado do Ceará, Brasil, onde estão destacadas as localizações da Praia de Flecheiras, onde foram coletadas as algas para preparação das mudas; e o município de Acaraú, onde foram realizados os cultivos experimentais.

Figura 12 - Mapa do Litoral do Estado Ceará, Brasil, seta amarela indica a Praia de Flecheiras no município de Trairi-CE, Brasil, a seta vermelha indica o litoral de Acaraú-CE, Brasil.

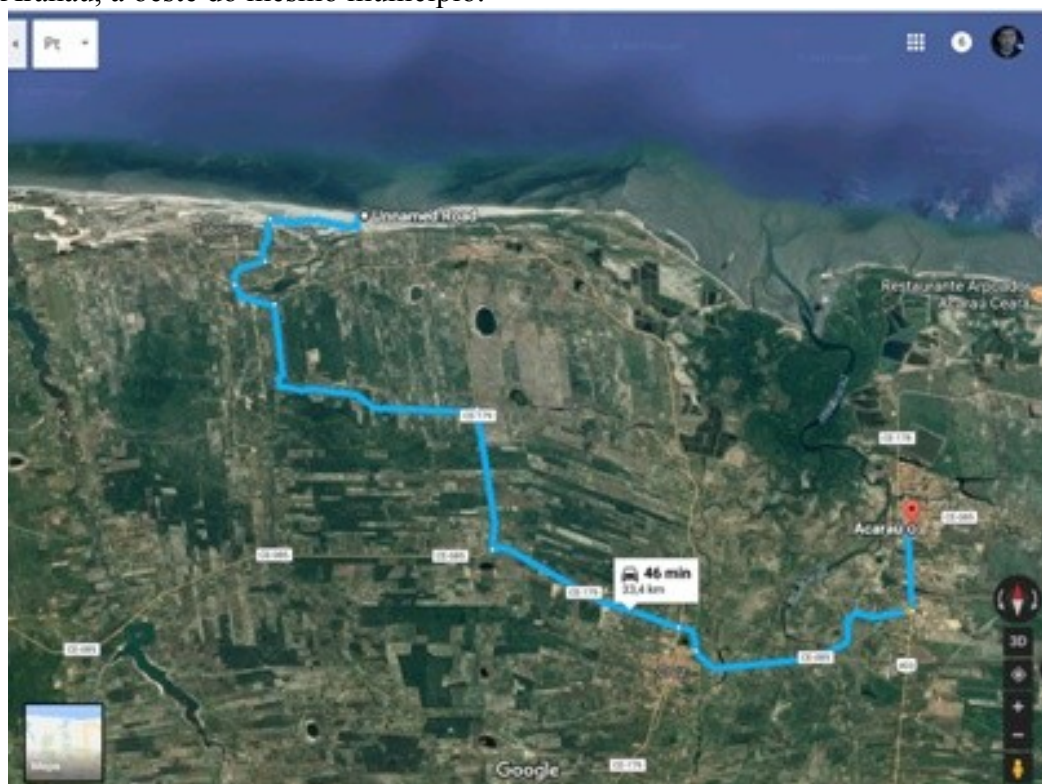


Fonte: Chaves et al. (2012)

4.2.2.1 Praia da Lagoa da Volta

A Praia da Lagoa da Volta está localizada no distrito de Aranaú, distante 33,4km a oeste da sede do município de Acaraú-CE, Brasil. Na Figura15, está exposta uma imagem demonstrando o trajeto utilizado no acesso a Praia da Lagoa da Volta, uma das áreas onde foram implantados os cultivos da macroalga *Gracilaria birdiae*.

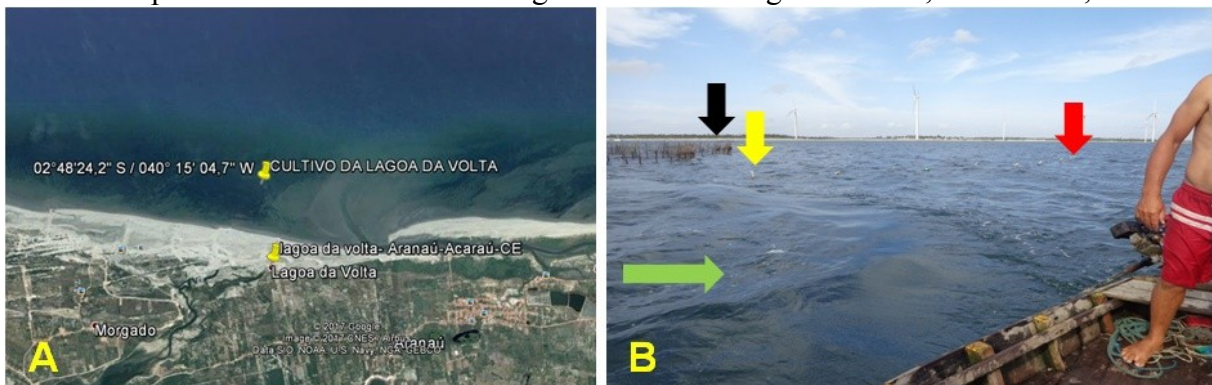
Figura 13 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae*, na Praia da Lagoa da Volta, distrito de Aranaú, a oeste do mesmo município.



Fonte: Google Maps (2017).

Para garantir que a estrutura de cultivo ficasse instalada em um local com maior proteção em relação a ação das marés e ao tráfego de embarcações, esta foi instalada a jusante de um curral de pesca na citada praia ($02^{\circ}48'24,2''S$; $040^{\circ}15'04,7''W$). Na Figura 14 é possível observar uma imagem de satélite com a localização exata e coordenadas geográficas do local onde foi implantado o cultivo de macroalgas na Praia da Lagoa da Volta, além de uma fotografia mostrando a disposição da estrutura de cultivo instalada em relação ao curral de pesca.

Figura 14 – Imagem de satélite com localização exata e coordenadas geográficas do local onde foi implantado o cultivo de macroalgas na Praia da Lagoa da Volta, Acaraú-CE, Brasil.

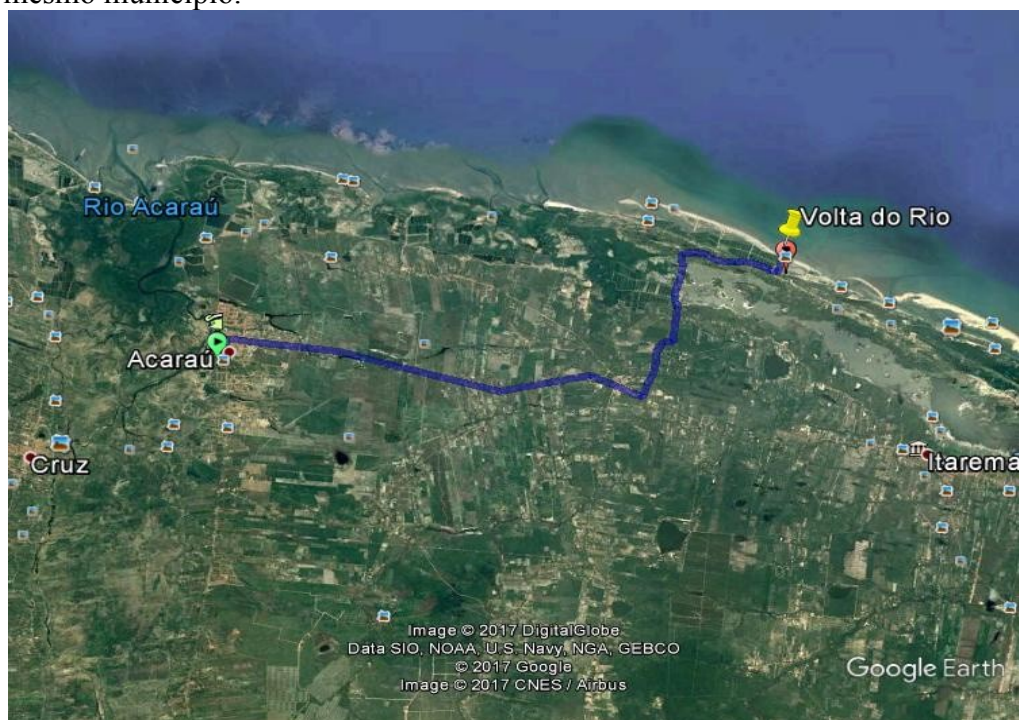


Fonte: A – Google Maps (2017); B – Próprio Autor. Legenda: (A) Imagem de Satélite e (B) localização exata da instalação do cultivo. Seta preta indica o curral de pesca; seta amarela o início e seta vermelha o fim da estrutura de cultivo; seta verde indica o sentido da corrente.

4.2.2.2 Praia da Volta do Rio

A Praia da Volta do Rio dista 23,6 km a leste da sede do município de Acaraú-CE, Brasil. Na Figura 15 está exposta uma imagem demonstrando o trajeto utilizado no acesso a Praia da Volta do Rio, a outra área onde foram implantados os cultivos da macroalga *Gracilaria birdiae*.

Figura 15 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae*, na Praia da Volta do Rio, a leste do mesmo município.



Fonte: Google Maps (2017).

Assim como realizado para a estrutura de cultivo instalada na Praia da Lagoa da Volta, a da Praia da Volta do Rio também foi instalada a jusante de um curral de pesca (02°51'035"S; 039°57'16,69"W). Na Figura 16 é possível observar uma imagem de satélite com a localização exata e coordenadas geográficas do local onde foi implantado o cultivo de macroalgas na Praia da Volta do Rio, além de uma fotografia mostrando a disposição da estrutura de cultivo instalada em relação ao curral de pesca.

Figura 16 – Imagem de satélite com localização exata e coordenadas geográficas do local onde foi implantado o cultivo de macroalgas na Praia da Volta do Rio, Acaraú-CE, Brasil.



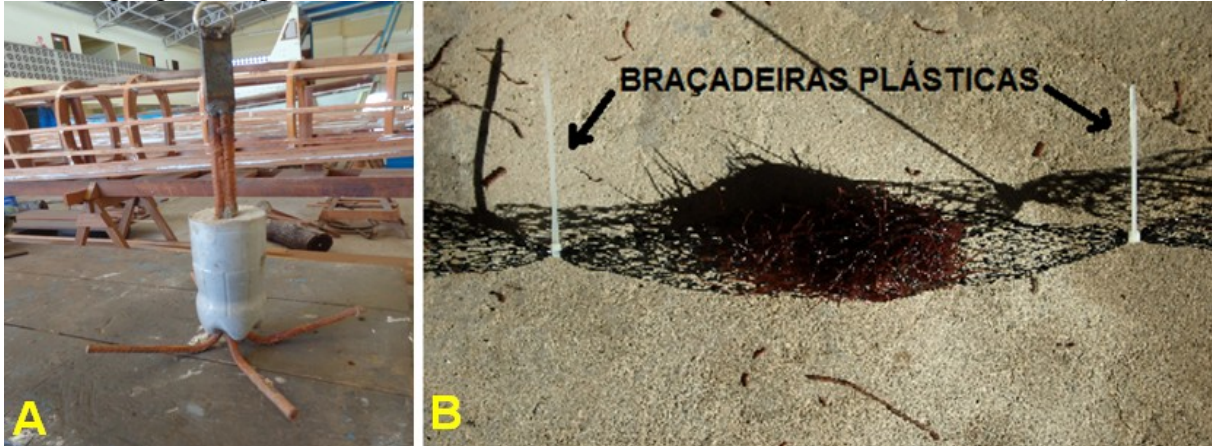
Fonte: A – Google Maps (2017); B – Próprio autor. Legenda: (A) Imagem de Satélite e (B) localização exata da instalação do cultivo. Seta preta indica o curral de pesca; seta amarela o início e seta vermelha o fim da estrutura de cultivo; seta verde indica o sentido da corrente.

4.2.3 Estrutura de cultivo

As estruturas de cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae*, utilizaram a técnica denominada *long line*. Foram realizadas adaptações necessárias no método proposto por Lelis (2006). Cada *long line* foi composto por uma linha principal, corda de nylon com espessura de 10 mm, com 22 m de comprimento total, a qual era mantida a 30 cm abaixo da superfície da água, sendo sustentadas por 12 boias feitas de garrafas PET (2,0 litros) instaladas nas extremidades e ao longo de toda a extensão da corda em espaçamentos iguais. Para a ancoragem foram utilizadas garatéias (poitas). Conectadas a linha principal, foram instaladas 20 linhas secundárias com distanciamento de 1,0 m entre elas, em cada secundária foram fixadas com braçadeiras plásticas duas mudas de macroalgas, as quais estavam alocadas em redes tubulares com distanciamento de 10 cm entre estas, desta forma, cada *long line* de 20 metros continha 40 mudas. (Figura 20)

Na Figura 17 é possível ver o tipo de poita adaptada utilizada na ancoragem da estrutura de cultivo e a maneira que as mudas de macroalgas foram preparadas e fixadas nas linhas secundárias da estrutura de cultivo.

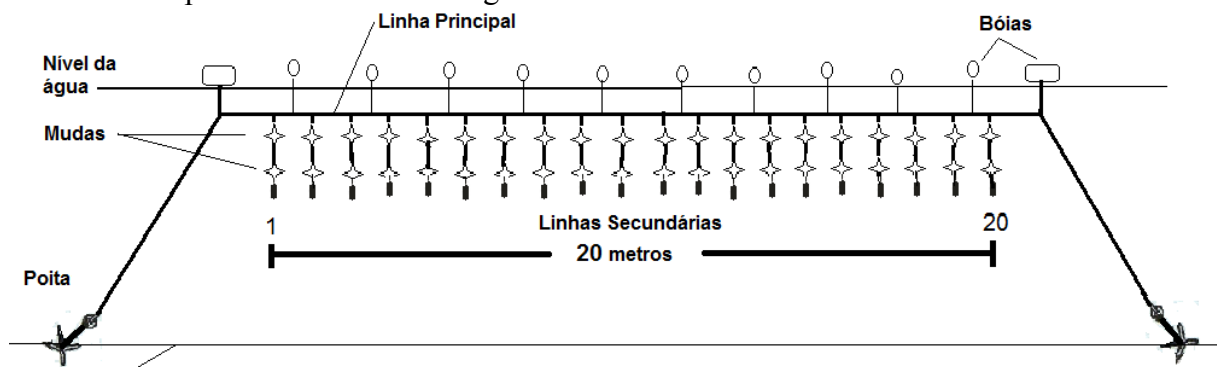
Figura 17 - Poita adaptada utilizada na ancoragem da estrutura de cultivo (A) e mudas de macroalgas prontas para serem fixadas nas linhas secundárias da estrutura de cultivo (B).



Fonte: Próprio autor

Na Figura 18 é possível observar um desenho que ilustra todas as partes anteriormente descritas do modelo de *long line* utilizado nos cultivos experimentais de macroalgas realizado na presente pesquisa.

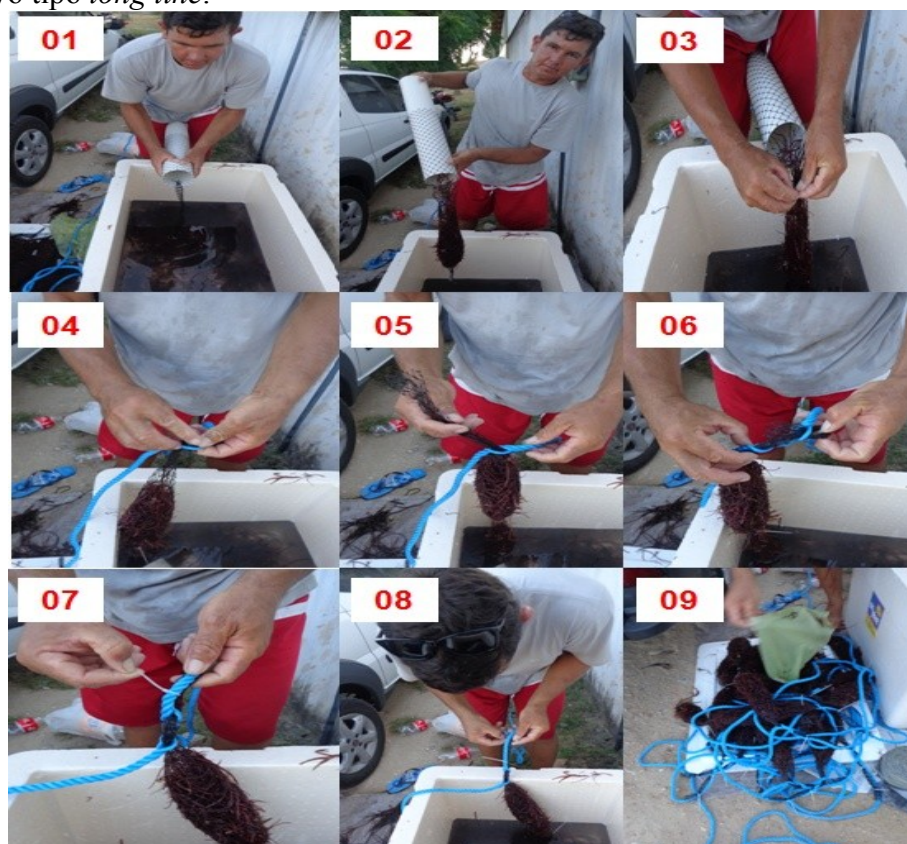
Figura 18 – Desenho ilustrativo representando o modelo de estrutura *long line* utilizada para os cultivos experimentais da macroalga *Gracilaria birdiae*.



Fonte: Próprio autor

Nesta pesquisa foi fixado o peso inicial de 250 g para cada muda. Como em cada linha secundária foram instaladas duas mudas e cada estrutura de cultivo constava de 20 secundárias, tem-se o total de 40 mudas por estrutura, sendo desta forma a biomassa inicial em peso úmido foi de 10 kg por *long line*. Na Figura 19 temos a representação metodológica da preparação das mudas de macroalgas *Gracilaria birdiae* nas redes tubulares e fixação das mesmas nas linhas secundárias da estrutura *long line* utilizadas no cultivo experimental.

Figura 19 – Sequência ilustrativa da preparação das mudas de macroalga *Gracilaria birdiae* e fixação das mesmas linhas secundárias das estruturas de cultivo tipo *long line*.



Fonte: Próprio autor

4.2.4 Indicadores de rendimento do cultivo

Os cultivos experimentais ocorreram simultaneamente nas praias da Lagoa da Volta e da Volta do Rio no período de 09 de junho a 24 de julho de 2016 (45 dias), para a verificação da viabilidade técnica da realização cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* nos locais escolhidos para a realização do cultivo, tomando como base os valores de peso e biomassa no início dos cultivos, foram acompanhados os seguintes indicadores de desempenho conforme descrito a seguir:

- a) Peso médio final (P_f), definido como o peso médio das mudas cada estrutura de cultivo ao final do período de cultivo (g);
- b) Ganho de peso (GP), a diferença do peso das macroalgas coletadas ao final do cultivo em relação ao peso inicial (g) das mudas implantadas; para o qual foi utilizada a Equação 1, conforme proposto por Muangkeow et al. (2007).

$$GP = \bar{P}_f - \bar{P}_i \quad (\text{Equação 1})$$

c) Biomassa final (Bm), posta como o número de macroalgas coletadas ao final do cultivo (n_f) multiplicado pelo peso médio destas (kg); para tal foi utilizada a Equação 2.

$$Bm_f = n_f \times \bar{P}_f \quad (\text{Equação 2})$$

d) Ganho de biomassa (GBm), a diferença do biomassa das macroalgas ao final do cultivo em relação a biomassa inicial (kg); para o qual foi utilizada a Equação 3.

$$GBm = Bm_f - Bm_i \quad (\text{Equação 3})$$

e) Taxa de crescimento relativo (TCR), que representa o ganho de peso diário percentual (% do peso.dia⁻¹); para o qual foi utilizada a Equação 4, conforme proposto por Romo et al. (2006) e Asaduzzaman et al. (2009).

$$TCR = \frac{\ln(\bar{P}_f / \bar{P}_i) \times 100}{t} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde: t representa o tempo de cultivo (dias), o qual para esta pesquisa foi de 45 dias.

4.2.5 Indicadores ambientais

Os seguintes indicadores ambientais foram monitorados: pH, temperatura da água (°C), salinidade, turbidez (FNU), sólidos totais dissolvidos (mg.L⁻¹), condutividade elétrica (mS.cm⁻¹), saturação de oxigênio (%) e oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹), todos estes utilizando uma sonda multiparamétrica HANNA modelo HI 9828. Além destes também foram medidos: a transparência, utilizando o Disco de Secchi (cm); velocidade de corrente (m.s⁻¹), foi calculada com o percentual de 4% da velocidade do vento, conforme metodologia proposta por Maia, L. P (1998); e a velocidade do vento (m.s⁻¹), utilizando um anemômetro Kestrel 1000.

Para verificação da influência da sazonalidade nas condições ambientais para a realização dos cultivos de macroalgas, o monitoramento foi realizado no decorrer do cultivo, o qual ocorreu durante a estação seca; e também foi realizado o monitoramento em um período de tempo equivalente durante a estação chuvosa.

4.3 Avaliação de Áreas para Implantação da Algicultura

Para avaliar a aptidão de uma área para implantação dos cultivos de macroalgas foi realizada a proposição do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) adaptando as metodologias propostas por Santos et al. (2011, 2015).

Nos itens a seguir será apresentado o detalhamento da metodologia aplicada para a elaboração do IAA, no qual foram considerados os seguintes indicadores: velocidade do vento e corrente, pH, salinidade, transparência de Secchi e temperatura da água.

4.3.1 Normalização dos indicadores utilizados

Devido às diferentes faixas de valores específicas de cada um dos indicadores utilizados na composição do IAA, é necessário realizar a normalização dos valores destes indicadores para que estes estejam em uma mesma faixa de valores, para que assim sejam equiparáveis, para isto, torna-se necessária a definição dos limites máximos, mínimos e ótimos da escala que será adotada para os indicadores utilizados, na Tabela 3 estão expostos os valores que foram adotados para esta finalidade.

Tabela 3 - Limites máximos, ótimos e mínimos e as respectivas justificativas dos indicadores utilizados na composição do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA).

Indicador	Unidade	Mínimo	Ótimo	Máximo
pH	#	7	8	9
Temperatura	°C	22	28	32
Salinidade	#	5	33	40
Transparência de Secchi	Cm	0	30	#
Velocidade Corrente	m.s ⁻¹	0,1	0,5	1
Velocidade Vento	m.s ⁻¹	5	12	20

Fonte: Próprio autor

O passo seguinte foi definir o número de classes que seriam adotadas para, então, calcular o intervalo das classes. Foram definidas 11 classes distribuídas igualmente no intervalo de 0 a 10; e para a definição do intervalo de classe de normalização (I_c) aplicada aos indicadores que compõem o IAA, utilizou-se a Equação 5 (SANTOS et al., 2011, 2015):

$$I_c = |V_f - V_i| / (N_c - 1) \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

I_c : intervalo de classe de normalização;

V_f : valor considerado indesejado para o indicador que está sendo avaliado;

V_i : valor considerado desejado para o indicador que está sendo avaliado;

N_c : número de classes estabelecidas;

Os indicadores utilizados foram normalizados por meio da transformação do valor real obtido do indicador em um *quantum* que varia entre zero e dez, de forma que o valor dez significa a melhor condição possível de ser alcançada e o valor zero a condição mais desfavorável, ou seja, inapta para o cultivo de macroalgas (RABELO, 2007; RABELO; LIMA, 2007).

Na Tabela 4 é possível observar os valores estabelecidos por meio da equação de intervalo de classe de normalização para os indicadores assumidos como referência, assim como o respectivo fator de normalização que foi aplicado a eles para o cálculo do IAA.

Tabela 4 – Indicadores utilizados no Índice de Aptidão à Algicultura (IAA), classes de normalização e respectivos valores normalizados.

Indicadores	Valor Normalizado										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
pH	9	8,9	8,8	8,7	8,6	8,5	8,4	8,3	8,2	8,1	8
	7	7,1	7,2	7,3	7,4	7,5	7,6	7,7	7,8	7,9	8
Temperatura de água (°C)	32	31,6	31,2	30,8	30,4	30	29,6	29,2	28,8	28,4	28
	22	22,6	23,2	23,8	24,4	25	25,6	26,2	26,8	27,4	28
Salinidade	40	39,3	38,6	37,9	37,2	36,5	35,8	35,1	34,4	33,7	33
	5	7,8	10,6	13,4	16,2	19	21,8	24,6	27,4	30,2	33
Transparência (cm)	0	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0	27,0	30,0
Velocidade de Corrente (m.s ⁻¹)	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	0,10	0,14	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46	0,50
Velocidade do vento (m.s ⁻¹)	5	5,7	6,4	7,1	7,8	8,5	9,2	9,9	10,6	11,3	12
	20	19,2	18,4	17,6	16,8	16	15,2	14,4	13,6	12,8	12

Fonte: Próprio autor.

A partir dos valores apresentados expostos na Tabela 4 é possível definir as equações de normalização referentes aos indicadores utilizados, as equações tem função de transformar qualquer resultado obtido no monitoramento destes indicadores em uma valor entre 0 e 10, o valor de cada indicador substitui o “x” em sua respectiva equação, fornecendo o valor normalizado “y”. Os indicadores utilizados, as suas respectivas informações conforme seus intervalos estão expostos na Tabela 5.

Tabela 5 - Equações de normalização corresponde aos respectivos intervalos de valores dos indicadores que compõem o Índice de Aptidão à Algicultura (IAA).

Indicadores	Intervalo de Valores	Equações de Normalização
pH	8 a 9	$y=10x-70$
	7 a 8	$y=-10x+90$
Temperatura de água (°C)	22 a 28	$y=1,6667x-36,667$
	28 a 32	$y=-2,5x+80$
Salinidade	33 a 40	$y=-1,4286x+57,143$
	5 a 33	$y=0,3571x-1,7857$
Transparência (cm)	0 a 30	$y=0,3334x$
Velocidade de Corrente (m s ⁻¹)	0,1 a 0,5	$y=25X-2,5$
	1 a 0,5	$y=-20X+20$
Velocidade do vento (m s ⁻¹)	5 a 12	$y=1,4268X-7,1429$
	12 a 20	$y=-1,25x+25$

Fonte: Próprio autor.

4.3.2 Índice de aptidão à algicultura (IAA)

O IAA foi calculado utilizando os valores normalizados dos indicadores de qualidade de água, estabelecendo pesos variando de zero a três a cada um deles conforme sua importância. Para o cálculo do IAA, foi utilizada a Equação 6, a qual foi adaptada da metodologia sugerida por Santos et al. (2011, 2015).

$$IAA = \sum_{n=1}^m \left[\left(\frac{E_i \times P_i}{m \times P_{maxi}} \right) \times 15 \right] \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

IAA= Índice de Aptidão à Algicultura;

E_i = Escore do i -ésimo indicador (valor da concentração normalizado);

P_i = Peso do i -ésimo indicador;

P_{maxi} = Peso máximo do i -ésimo indicador;

$i = 1, \dots, m$;

m = Número de indicadores;

15 = constante.

Para o uso do IAA os resultados foram ajustados para que ficassem entre zero e cem (0 – 100), onde quanto maior o resultado obtido, maior será a aptidão daquele local para a implantação de cultivos de macroalgas, na Tabela 6 apresenta-se a escala de aptidão proposta para avaliação dos resultados do IAA.

Tabela 6 - Escala de avaliação dos resultados do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) e os respectivos valores e cores.

Escala de Aptidão do IAA	Valores
Inapto	0 - 32
Apto	33 - 66
MuitoApto	67 - 100

Para atestar a eficiência do IAA, foi comparado o resultado obtido com o uso do indicador com os resultados de desempenho dos cultivos experimentais da macroalga *Gracilaria birdiae* realizados nas duas localidades onde estes foram realizados, a saber: Praia da Lagoa da Volta e da Volta do Rio.

4.3.2.1 Aplicativo do IAA para Dispositivos Móveis

Com o intuito de viabilizar a utilização do IAA como uma ferramenta de campo para avaliar se uma área é propícia para a implantação de cultivos de macroalgas, foi criado um aplicativo para dispositivos móveis utilizando o sistema operacional Android, considerando o modelo matemático e a metodologia anteriormente descritos para este índice.

Para utilizar o aplicativo o usuário deve inserir nos locais indicados, os resultados dos indicadores, que constituem o IAA, obtidos em medições realizadas no local a ser avaliado e clicar no ícone “CALCULAR APTIDÃO”, então aparecerá o resultado numérico do IAA além do seu nível de aptidão conforme a escala anteriormente descrita e um gráfico tipo *Gauge* com valores, nível de aptidão e variação de cores conforme a escala proposta. Na Figura 20 é possível observar uma imagem que reproduz a tela de trabalho do aplicativo IAA para dispositivos móveis.

Figura 20 – Reprodução da tela de trabalho do aplicativo Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) para dispositivos móveis.

VELOCIDADE DE CORRENTE (M/S):

TRANSPARÊNCIA (CM):

TEMPERATURA (°C):

SALINIDADE:

VELOCIDADE DO VENTO (M/S):

PH:

CALCULAR APTIDÃO

IAA:

0 32 66 100

4.4 Prospecção de Áreas para Implantação da Algicultura

As localidades visitadas durante a prospecção foram escolhidas após a identificação de potencialidade para o cultivo de macroalga por avaliação visual, tendo como base o conhecimento empírico do autor desta tese. Assim, foram visitadas dez localidades na região da Costa Negra, litoral Oeste do Estado do Ceará, Brasil.

Em cada local foram realizadas as medições dos indicadores que fazem parte do IAA, com uso de seus respectivos equipamentos conforme anteriormente citados, então os dados foram inseridos no aplicativo do IAA para dispositivos móveis, gerando assim a pontuação e o gráfico do tipo *Gauge* para cada local, sendo desta forma possível apontar qual destas apresenta maior potencialidade para a implantação dos cultivos de algas conforme a metodologia proposta.

Segue abaixo a listagem dos locais visitados, os quais foram ordenados tomando como referência seu posicionamento em relação à sede do município de Acaraú, a saber:

- **Praias localizadas a oeste da sede do município de Acaraú-CE, Brasil:**

1. **Praia do Preá:**

A Praia do Preá é localizada no município de Cruz-CE distando da sede do município de Acaraú-CE aproximadamente 50 km no trajeto por estrada. A prospeção ocorreu no dia 11 de março de 2017, às 14 horas momento em que a maré estava enchendo, com preamar às 16h e 25min, chegando à altura de 2,9 m, era lua crescente e a profundidade no ponto era de 1,25 m.

As coordenadas geográficas do local onde foram realizadas as medições são 2°48' 44,55"S; 40°24'57,63" W, na Figura 23 é possível observar uma imagem de satélite com a rota de acesso ao local.

Figura 21 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospeção na Praia do Preá, Cruz-CE, Brasil, na Região da Costa Negra.



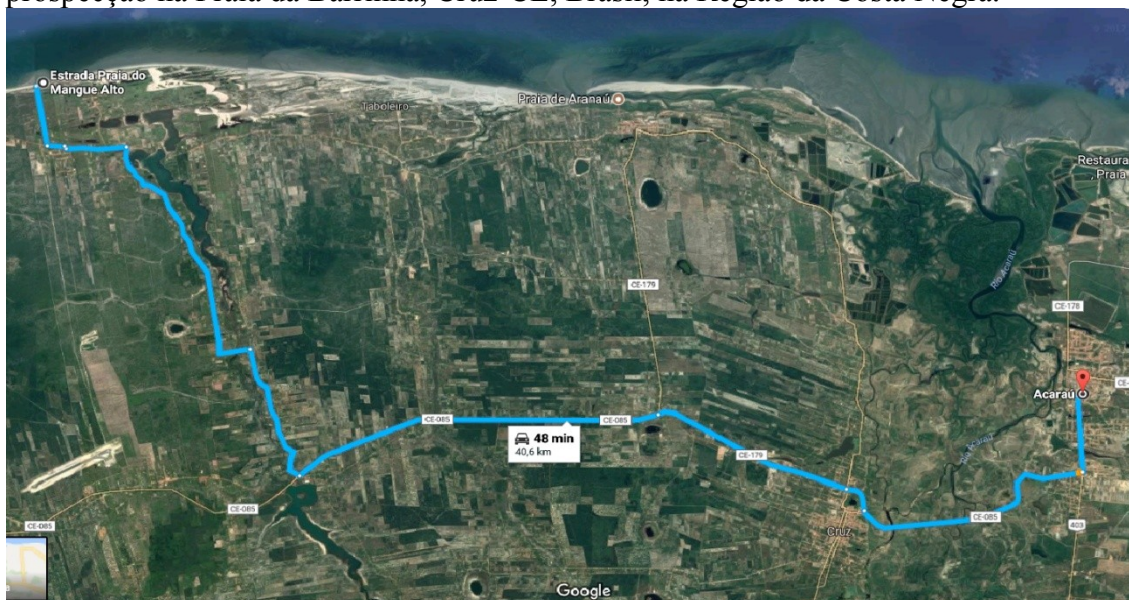
Fonte: Google earth (2017)

2. **Praia da Barrinha:**

A Praia da Barrinha é localizada na divisa do município de Cruz-CE e Acaraú-CE, distando da sede do município de Acaraú-CE aproximadamente 40 km no trajeto por estrada. A prospeção ocorreu também no dia 11 de março de 2017, às 15 horas momento em que a maré estava enchendo, com preamar às 16h e 25min, chegando a altura de 2,9 m, era lua crescente e a profundidade no ponto era de 1,25 m.

As coordenadas geográficas do local onde foi realizada as medições são $2^{\circ}48'32,20''S$; $40^{\circ}21'37,92''W$, na Figura 22 é possível observar uma imagem de satélite com a rota de acesso ao local.

Figura 22 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia da Barrinha, Cruz-CE, Brasil, na Região da Costa Negra.



Fonte: Google earth (2017)

- Praias localizadas na sede do município de Acaraú-CE, Brasil.

3. Praia de Arpoeiras:

A Praia de Arpoeiras é localizada no próprio município de Acaraú-CE ($2^{\circ}49'45,59''S$; $40^{\circ}05'15,65''W$), sendo considerado a praia da sede do município por ser a mais próxima, distando aproximadamente 11 km no trajeto por estrada. A prospecção ocorreu no dia 25 de março de 2017, às 13h e 30 min., momento em que a maré estava enchendo, com preamar às 15h e 20min, chegando a altura de 2,8 m, era lua minguante e a profundidade no ponto era de 1,60 m.

As coordenadas geográficas do local onde foi realizada as medições são $2^{\circ}49'45,59''S$; $40^{\circ}05'15,65''W$, na Figura 25, é possível observar uma imagem de satélite com a rota de acesso ao local.

Figura 23 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia de Arpoejas, no mesmo município, na Região da Costa Negra.



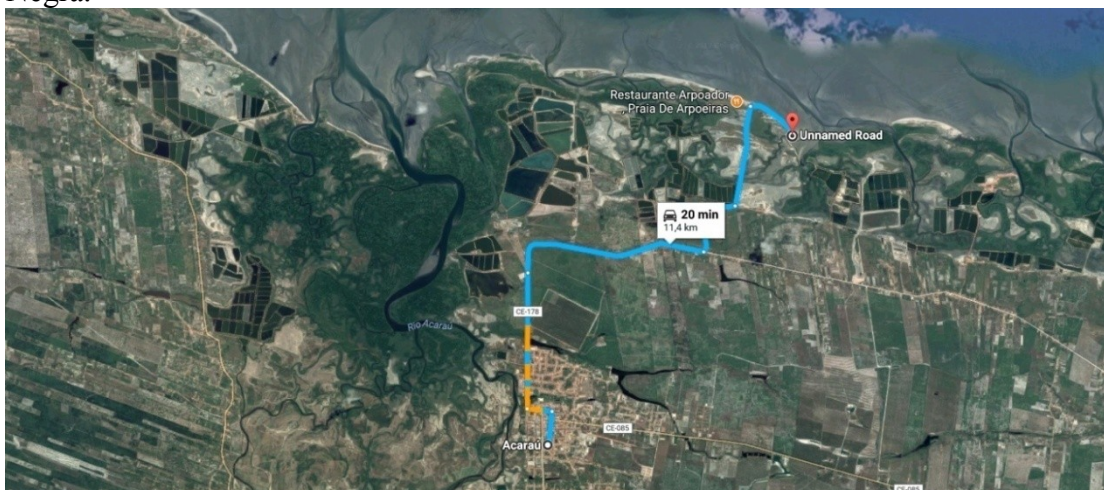
Fonte: Google earth (2017).

4. Praia de Imburanas:

A Praia de Imburanas é localizada no próprio município de Acaraú-CE, podendo ser considerada como parte da Praia de Arpoejas, estando distante também aproximadamente 11 km no trajeto por estrada. A prospecção ocorreu no dia 26 de março de 2017, às 15h, momento em que a maré estava enchendo, com preamar às 16h, chegando a altura de 2,9 m, era lua minguante e a profundidade no ponto era de 1,55 m.

As coordenadas geográficas do local onde foram realizadas as medições são $2^{\circ}50'40,5''S$; $40^{\circ} 4' 43,15''W$, na Figura 24 é possível observar uma imagem de satélite com a rota de acesso ao local.

Figura 24 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia de Imburanas, no mesmo município, na Região da Costa Negra.



Fonte: Google earth (2017)

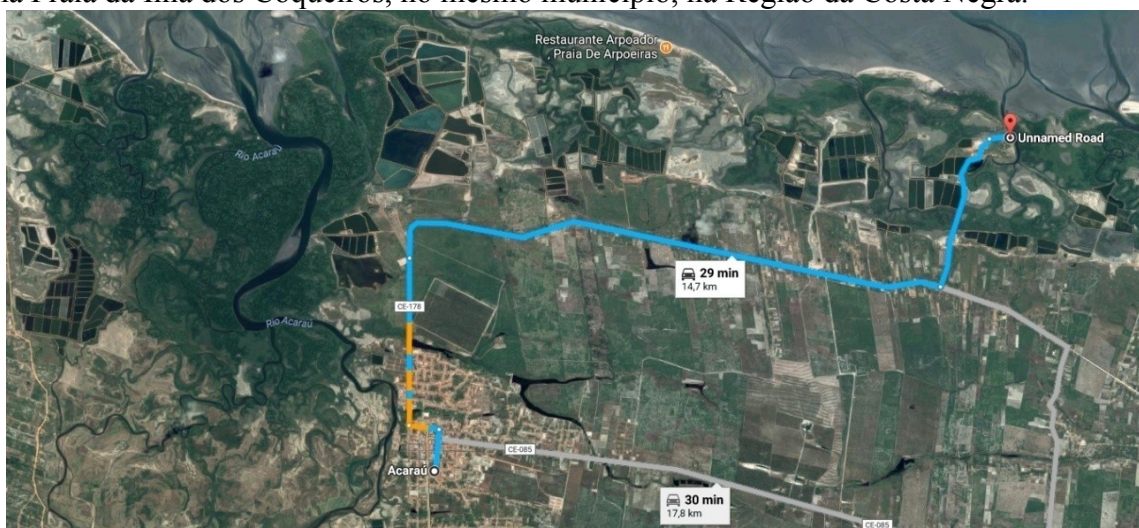
- **Praias localizadas a leste da sede do município de Acaraú-CE, Brasil.**

5. Ilha dos Coqueiros:

A Praia da Ilha dos Coqueiros é localizada no próprio município de Acaraú-CE, distando da sede do município aproximadamente 15 km no trajeto por estrada. A prospecção ocorreu no dia 08 de abril de 2017, às 13h e 30min, momento em que a maré estava enchendo, com preamar às 15h e 20min, chegando a altura de 2,7 m, era lua crescente e a profundidade no ponto era de 1,65 m.

As coordenadas geográficas do local onde foram realizadas as medições são 2°50'9,12 "S; 40°02'45,84"W, na Figura 25 é possível observar uma imagem de satélite com a rota de acesso ao local.

Figura 25 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia da Ilha dos Coqueiros, no mesmo município, na Região da Costa Negra.



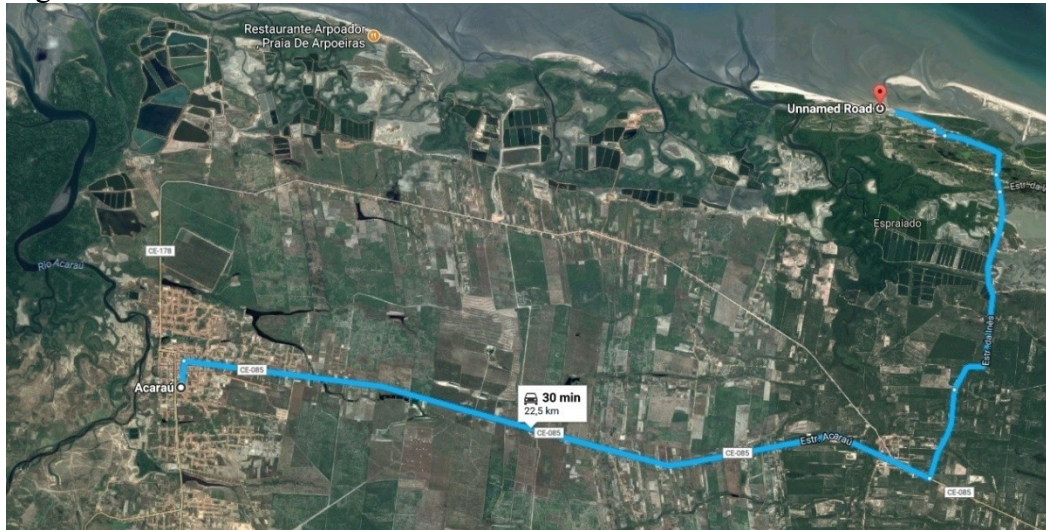
Fonte: Google earth (2017).

6. Praia do Espriado:

A Praia do Espriado é localizada no próprio município de Acaraú-CE, distando da sede do município aproximadamente 22 km no trajeto por estrada. A prospecção ocorreu no dia 09 de abril de 2017, às 14h e 10min, momento em que a maré estava enchendo, com preamar às 16h, chegando a altura de 2,8 m, era lua crescente e a profundidade no ponto era de 1,55 m.

As coordenadas geográficas do local onde foram realizadas as medições são 2°50'28,62"S; 40°00'57,94"W, na Figura 26 é possível observar uma imagem de satélite com a rota de acesso ao local.

Figura 26 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia do Espraiado, no mesmo município, na Região da Costa Negra.



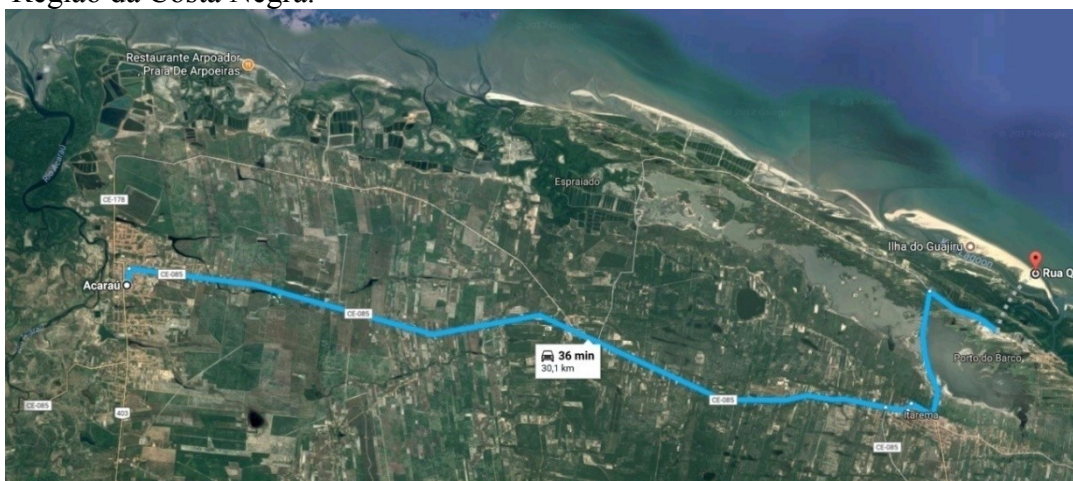
Fonte: Google earth (2017)

7. Porto dos Barcos:

A Praia do Porto dos Barcos é localizada no município de Itarema-CE, distando da sede do município de Acaraú-CE aproximadamente 30 km no trajeto por estrada. A prospecção ocorreu no dia 22 de abril de 2017, às 11h e 10min, momento em que a maré estava enchendo, com preamar às 13h e 55min, chegando a altura de 2,5 m, era lua minguante e a profundidade no ponto era de 1,60 m.

As coordenadas geográficas do local onde foram realizadas as medições são $2^{\circ}53'12,59''S$; $39^{\circ}53'8,52''W$, na Figura 27 é possível observar uma imagem de satélite com a rota de acesso ao local.

Figura 27 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia do Porto dos Barcos, no município de Itarema-CE, Brasil, na Região da Costa Negra.



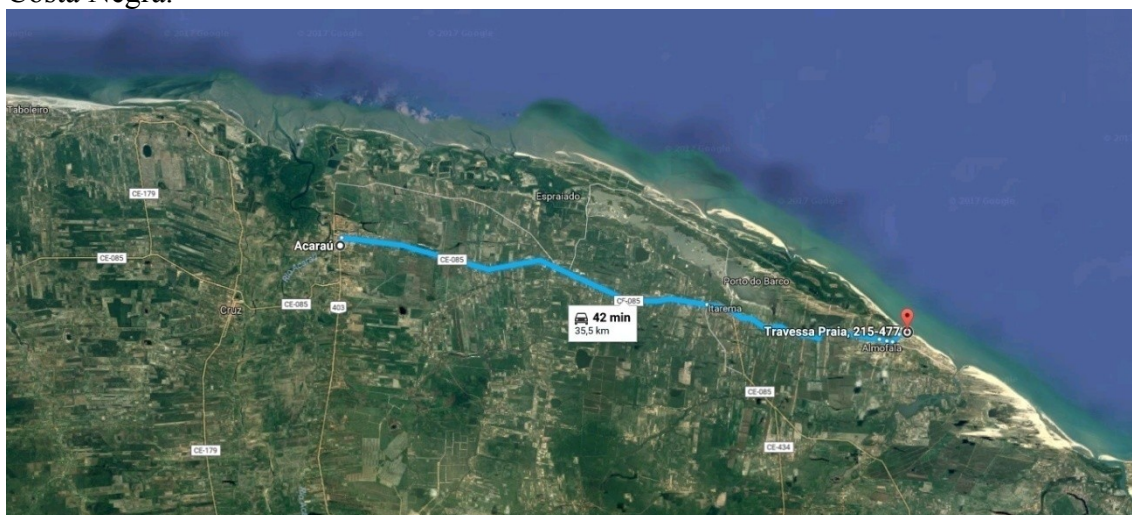
Fonte: Google earth (2017).

8. Praia da Almofala:

A Praia de Almofala é localizada no município de Itarema-CE, distando da sede do município de Acaraú-CE aproximadamente 35 km no trajeto por estrada. A prospecção ocorreu no dia 29 de abril de 2017, às 11h e 20min, momento em que a maré estava vazando, com baixa-mar às 13h, chegando a altura de 0,1 m, era lua crescente e a profundidade no ponto era de 1,45 m.

As coordenadas geográficas do local onde foi realizada as medições são 2°54'47,04"S; 39°50'36,65"W, na Figura 28 é possível observar uma imagem de satélite com a rota de acesso ao local.

Figura 28 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia de Almofala, no município de Itarema-CE, Brasil, na Região da Costa Negra.



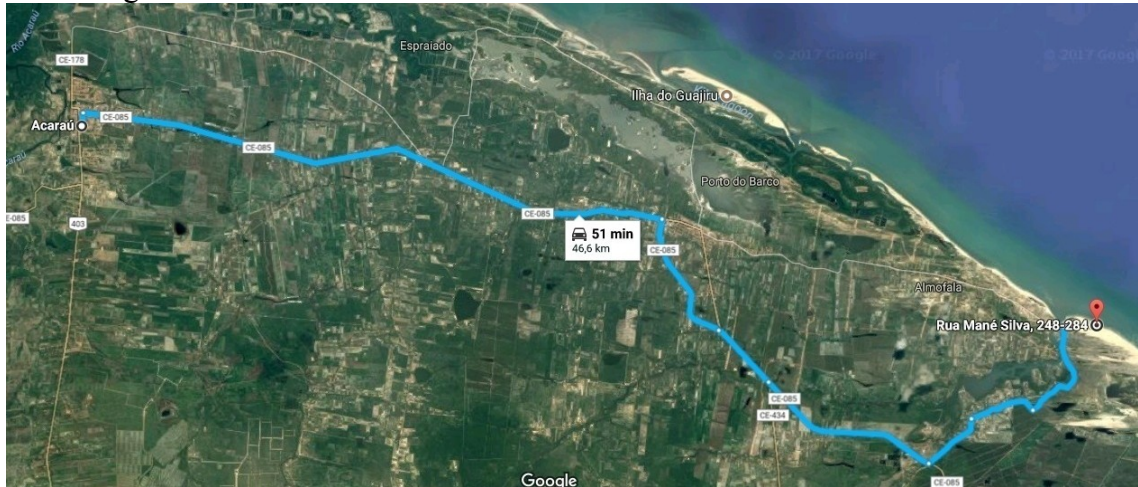
Fonte: Google earth (2017)

9. Praia de Torrões:

A Praia de Torrões é localizada no município de Itarema-CE, distando da sede do município de Acaraú-CE aproximadamente 46 km no trajeto por estrada. A prospecção ocorreu no dia 06 de maio de 2017, às 11h e 30min, momento em que a maré estava enchendo, com preamar às 14h e 05min, chegando a altura de 2,4 m, era lua crescente e a profundidade no ponto era de 1,55 m.

As coordenadas geográficas do local onde foram realizadas as medições são 2°57'7,08"S; 39°47'6,49"W, na Figura 29 é possível observar uma imagem de satélite com a rota de acesso ao local.

Figura 29 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia de Torrões, no município de Itarema-CE, Brasil, na Região da Costa Negra.



Fonte: Google earth (2017).

10. Praia dos Patos:

A Praia dos Patos é localizada no município de Itarema-CE, distando da sede do município de Acaraú-CE aproximadamente 46 km no trajeto por estrada. A prospecção ocorreu no dia 07 de maio de 2017, às 11h e 30min, momento em que a maré estava enchendo, com preamar às 14h e 50min, chegando à altura de 2,5 m, era lua crescente e a profundidade no ponto era de 1,55 m.

As coordenadas geográficas do local onde foram realizadas as medições são $2^{\circ}59'38,63''S$; $39^{\circ}43'55,32''W$, na Figura 30 é possível observar uma imagem de satélite com a rota de acesso ao local.

Figura 30 - Trajeto da sede do município de Acaraú-CE, Brasil, para o local de prospecção na Praia dos Patos, no município de Itarema-CE, Brasil, na Região da Costa Negra.



Fonte: Google earth (2017).

4.5 Análises Estatísticas

Os resultados dos indicadores de qualidade ambiental foram submetidos a Análise de Variância (ANOVA) um critério ao nível de significância de 5,0% ($p = 0,05$) e ao teste de Tukey para a comparação entre as médias. Já para os resultados de desempenho dos cultivos experimentais foi utilizado o Teste *T* de Student com nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa BioEstat 5.0.

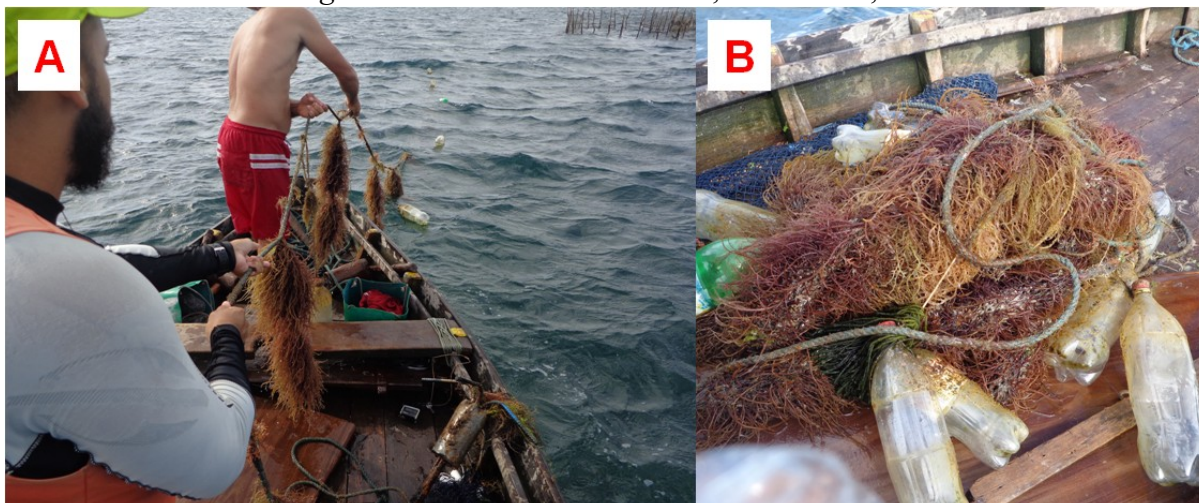
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Cultivos Experimentais da Macroalga *Gracilaria birdiae*

5.1.1 Indicadores de rendimento do cultivo

As macroalgas foram implantadas nas cordas secundarias com peso inicial de 250 g por muda, igualmente nos dois cultivos testados, considerando o total de 40 mudas por *long line*, perfazendo a biomassa inicial de 10 kg por estrutura de cultivo, em um período de cultivo foi de 45 dias. Na Figura 31 está exposta uma fotografia no momento da colheita das algas e o volume total produzido no *long line* da Praia da Volta do Rio, Acaraú-CE, Brasil.

Figura 31 – Manejo de colheita (A) e o volume total produzido (B) de algas *Gracilaria birdiae* cultivadas no *long line* da Praia da Volta do Rio, Acaraú-CE, Brasil.



Fonte: Próprio autor.

Na Figura 32 é possível observar duas fotografias das macroalgas cultivadas para presente pesquisa, na primeira imagem está a foto de duas mudas de *G. birdiae* implantada ao início do cultivo e na segunda fotografia se pode visualizar como as algas estavam ao final do cultivo. Ao comparar estas imagens percebe-se que a biomassa mais que duplicou no final do cultivo em relação ao início.

Figura 32 – Mudras da macroalga *Gracilaria birdiae* (A) implantadas no início do cultivo e no momento da colheita (B) ao final do cultivo experimental.



Fonte: Próprio autor.

Observa-se que em todos os indicadores de rendimento avaliados as algas cultivadas na Lagoa da Volta apresentaram melhor desempenho quando comparado com as cultivadas na Volta do Rio, apresentando diferença estatisticamente significativa entre os resultados nos dois locais. Na Tabela 7 estão os resultados obtidos no cultivo de macroalga realizada nos dois locais utilizados neste estudo.

Tabela 7 – Resultados do desempenho de cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* realizada em dois diferentes locais da Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil.

Indicadores	Lagoa da Volta	Volta do Rio
Peso final (g)	504,87 ± 65,46a	349,25 ± 111,38b
Ganho de Peso (g)	254,87 ± 65,46a	99,25 ± 111,38b
Biomassa Final (kg)	20,20 ± 2,62a	13,97 ± 4,46b
Produção (kg)	10,20 ± 2,62a	3,97 ± 4,46b
TCR (% do peso. dia ⁻¹)	1,54 ± 0,29a	0,63 ± 0,75b

TCR: Taxa de crescimento relativo; *Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste t-Student ($p \leq 0,05$).

Em relação ao peso médio final obtido, enquanto na Lagoa da Volta as mudas alcançaram peso médio em torno de 505 g, na Volta do Rio chegaram aproximadamente 350 g cada muda. Com esse crescimento foi verificada que na Lagoa do Volta o ganho de peso no

período de cultivo foi aproximadamente 250 g, enquanto na Volta do Rio foi próximo de 100 g por muda.

O conjunto de todos os indicadores utilizados na avaliação técnica do desempenho de cultivo mostrou que na Lagoa da Volta o desempenho foi 2,5 vezes melhor que na Volta do Rio, apontando que a Praia da Lagoa da Volta apresentou condições mais propícias para o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* conforme a técnica utilizada.

Soriano (2004) cultivando também a *Gracilaria birdiae* em *long line* obteve algas com peso médio final de aproximadamente 500 g em 60 dias de cultivo, isto é, ganho de peso diário de 7,5 g.dia⁻¹, se realizarmos, o mesmo cálculo para os resultados obtidos na presente pesquisa, temos que na Lagoa da Volta o ganho de peso diário foi de 5,7 g.dia⁻¹ e na Volta do Rio foi de apenas 2,22 g.dia⁻¹, apesar dos resultados da presente pesquisa serem inferiores aos citados, observa-se que há potencialidade para o cultivo.

Veja que a biomassa ao final do cultivo na Lagoa da Volta foi próxima a 20 kg, gerando produção de 10 kg, enquanto na Volta do Rio a biomassa final foi próximo aos 14 kg e produção de 4,0 kg. Na Lagoa da Volta foi obtida uma taxa de crescimento relativo (TCR) de 1,98% do peso. dia⁻¹ e de 0,81% do peso.dia⁻¹ na Volta do Rio. Se compararmos os resultados de TCR obtidos por Soriano (2005), observamos que no período mais produtivo esse pesquisador alcançou 2,6%.dia⁻¹, o que foi melhor que os resultados observados na presente pesquisa, no entanto ao comparar com o resultado médio, 1,4%.dia⁻¹, o resultado obtido na Lagoa da Volta foi superior (1,98% do peso.dia⁻¹).

O mesmo fato foi observado que ao comparar o resultado obtido por Marinho-Soriano; Moreira; Carneiro (2006) cultivando também a *G. birdiae* no estuário do Rio Curimataú (RN) o qual obteve TCR média de 1,77%.dia⁻¹, resultado inferior ao obtido na presente pesquisa. Já Araujo & Rodrigues (2011) cultivando *G. birdiae* na Praia da Barrinha (CE) obtiveram TCR de 3,44%.dia⁻¹ e Bezerra; Marinho-Soriano (2010) alcançaram TCR de 4,4% do peso. dia⁻¹ na estação chuvosa e 4,3% do peso.dia⁻¹ na seca cultivando a mesma espécie no estuário do Rio do Fogo (RN); isto é, resultados superiores aos observados na presente pesquisa.

5.1.2 Indicadores ambientais

A exposição dos resultados referente aos indicadores ambientais será exposta em duas partes, onde inicialmente serão expostos os resultados dos indicadores que não foram utilizados no cálculo do IAA, posteriormente serão expostos os resultados utilizados neste. Outro fato importante de ser citado é que a comparação dos resultados foi feita entre os dois locais de cultivo, os quais foram realizados durante a estação seca; e durante a estação chuvosa o monitoramento foi feito em período semelhante ao dos cultivos. Na Tabela 8 estão os expostos os resultados dos indicadores ambientais monitorados durante a presente pesquisa.

Tabela 8 – Resultados dos indicadores ambientais monitorados nos dois diferentes locais onde foram realizados os cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* na Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil.

Indicadores ambientais	Seco		Chuvoso	
	Lagoa da Volta	Volta do Rio	Lagoa da Volta	Volta do Rio
Turbidez (FNU)	1,15 ± 0,23a	1,57 ± 1,06a	1,16 ± 0,43a	1,28 ± 0,53a
Sólidos Totais Dissolvidos (mg.L⁻¹)	39,54 ± 10,57a	46,98 ± 10,67a	26,11 ± 0,59b	26,09 ± 0,32b
Condutividade elétrica (mS.cm⁻¹)	56,08 ± 2,54a	58,54 ± 0,45a	48,36 ± 3,50b	50,38 ± 0,71b
Saturação de Oxigênio (%)	45,23 ± 1,91a	47,13 ± 2,17a	39,01 ± 1,12b	39,42 ± 0,58b
Oxigênio Dissolvido (mg.L⁻¹)	2,74 ± 0,75b	3,23 ± 0,34ab	3,57 ± 0,52a	3,76 ± 0,55a

*Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$)

A turbidez na água influencia diretamente a intensidade de penetração da luz na água, quando a água tem maior turbidez menor é a penetração de luz e, conseqüentemente, ocorre redução na fotossíntese, veja que nos dois locais, tanto na estação seca como na chuvosa, a turbidez foi baixa, não apresentando diferença estatisticamente significativa entre eles, considerando que neste estudo foi realizado o cultivo de macroalga, que é um organismo fotossintetizante, verifica-se que ambos os locais mostram-se adequados para o cultivo.

Os sólidos totais dissolvidos e a condutividade elétrica são dois indicadores intimamente relacionados, tendo relação direta com as concentrações de materiais suspensos na água e, conseqüentemente, das cargas químicas ali presentes. Nestes a tendência dos resultados foi a mesma, no período seco os resultados foram mais elevados que no período chuvoso, fato que pode ser explicado pela interferência da água da chuva.

Os outros dois indicadores monitorados têm menor importância direta para o cultivo de algas, pois estas são fotossintetizantes, não dependendo da disponibilidade de

oxigênio para seu desenvolvimento, no entanto estes apontam a saúde do ambiente. Veja que para a saturação a tendência foi de valores maiores no período do seco, e menores no chuvoso, já para a concentração esta relação não foi tão clara, havendo a tendência oposta, sendo durante o período chuvoso as concentrações mais elevadas. A saturação do oxigênio sofre influencia direta da temperatura e da salinidade (ESTEVES, 1998), indicadores que serão posteriormente comentados.

5.2 Avaliação de Áreas para Implantação da Algicultura

5.2.1 Índice de aptidão à algicultura (IAA)

5.2.1.1 Indicadores Ambientais Usados no IAA

O conhecimento das condições ambientais é de grande importância para a avaliação de uma área para a implantação do cultivo de macroalgas, pois quanto melhor for a condição ambiental melhor será o rendimento do cultivo, acerca disso Ursi et al. (2003) explica que para conseguir manter as taxas fotossintéticas e metabólicas em níveis desejáveis durante os cultivos, as algas precisam resistir e se adaptar a diferentes situações de estresse ambiental, como dessecação, temperatura, salinidade e níveis de irradiação solar, Leonor Brito & Silva (2005) completam esta lista com a disponibilidade de nutrientes presentes na água.

Ao avaliar os indicadores ambientais que foram utilizados no IAA, observa-se que alguns obedeceram a mesma tendência daqueles anteriormente citados, em relação ao pH, temperatura, salinidade e transparência tem-se que os resultados no período seco foram maiores que os observados no período chuvoso, fato facilmente explicado pela própria característica climática de cada período. Com o maior volume de água doce proveniente da chuva tem-se a redução do pH e da salinidade, as chuvas também carregam material particulado oriundo do continente para o mar, reduzindo a transparência.

A nebulosidade também reduz a incidência solar, interferindo na percepção da transparência da água ao utilizar o Disco de Secchi. Da mesma forma a temperatura, que é a medida de intensidade de calor na água (ESTEVES, 1998), é diretamente influenciada pela nebulosidade, que com a menor incidência solar, tem-se redução da temperatura na água.

Em relação à velocidade de corrente, observa-se que apenas na Praia da Volta do Rio durante o período do inverno apresentou-se superior que as das demais medições, no

entanto sem apresentar diferença estatisticamente significativa em relação às demais. Já em relação à velocidade do vento, observou-se que na Lagoa da Volta esta velocidade manteve-se praticamente constante nos dois períodos, aproximadamente 27 m.s^{-1} ; na Volta do Rio a variação foi maior sendo o menor valor de velocidade do vento medido neste ponto durante a estação seca ($25,18 \text{ m.s}^{-1}$) e a maior de todas também foi neste ponto na estação chuvosa ($31,14 \text{ m.s}^{-1}$). Na Tabela 9 estão expostos os resultados do monitoramento dos indicadores utilizados no cálculo do IAA.

Tabela 9 – Resultados do monitoramento dos indicadores ambientais utilizados no Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) monitorados nos dois diferentes locais onde foi realizado o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae* na Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil.

Indicadores IAA	Seco		Chuvoso	
	Lagoa da Volta	Volta do Rio	Lagoa da Volta	Volta do Rio
pH	$8,79 \pm 0,49a$	$8,95 \pm 0,42a$	$6,98 \pm 0,66b$	$6,80 \pm 0,62b$
Temperatura da água (°C)	$27,68 \pm 0,30a$	$27,94 \pm 0,62a$	$24,71 \pm 0,57b$	$25,18 \pm 1,04b$
Salinidade	$37,14 \pm 1,78a$	$38,26 \pm 1,06a$	$34,75 \pm 0,40b$	$35,05 \pm 0,52b$
Transparência de Secchi (cm)	$47,0 \pm 7,5a$	$42,0 \pm 9,8a$	$41,0 \pm 10,68ab$	$30,0 \pm 8,94b$
Velocidade de Corrente (m.s^{-1})	$1,09 \pm 0,26a$	$1,01 \pm 0,04a$	$1,08 \pm 0,05a$	$1,25 \pm 0,16a$
Velocidade do Vento (m.s^{-1})	$27,20 \pm 6,43ab$	$25,18 \pm 1,07b$	$27,10 \pm 6,43ab$	$31,14 \pm 4,03a$

*Médias seguidas por letras iguais, nas linhas, não diferem pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$)

Em termos de comparação observou-se que durante o período que Soriano (2005) realizou o cultivo da mesma espécie no litoral do RN foi observado temperatura em média de $28,6 \text{ }^\circ\text{C}$, mais altas que as observadas neste estudo; o pH médio de 8,2 com mínimo de 8,0 e máximo de 8,4, o que revela uma variação mais discreta; transparência média de 30,5 cm, variando de 15 a 50, isto é, menor que os obtidos nesta pesquisa; e a salinidade média de 35,8, variando entre 34 e 37, assim como obtido na presente pesquisa.

Já no estuário do Rio Curimataú (RN), durante o cultivo da mesma espécie de macroalga, Marinho-Soriano; Moreira; Carneiro (2006) observaram temperatura média de $27,7 \text{ }^\circ\text{C}$, com variação entre 26 e $29 \text{ }^\circ\text{C}$; e salinidade de 36,1, variando de 34 a 39; bem semelhantes aos resultados observados durante o cultivo experimental da presente pesquisa, assim como os que serão relatados a seguir.

Os indicadores ambientais praticamente não variaram ao longo do período de cultivo da *G. birdiae* na Praia da Barrinha (CE), ficando o valor médio de temperatura em $28,32 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 0,45 \text{ }^\circ\text{C}$), o pH médio foi de 8,37 ($\pm 0,32$) e a salinidade média de 34,83 ($\pm 0,55$) (ARAÚJO; RODRIGUES, 2011).

Nos cultivos de *G. birdiae* no estuário do Rio do Fogo (RN) realizados por Bezerra & Marinho-Soriano (2010) observou-se no período chuvoso temperatura variando entre 27 e 30°C; pH entre 7,1 e 8,3; e salinidade entre 30 e 36; já no período seco as variações foram menores, a temperatura ficou entre 28 e 29 °C, salinidade entre 35 e 37; e ph entre 7,5 e 8,3.

5.2.1.2 Resultados do IAA nos Locais de Cultivo

Na Tabela estão expostos os resultados dos indicadores ambientais, os resultados parciais e finais do IAA para a Praia da Lagoa da Volta nos períodos secam e chuvoso. Ao observar os valores parciais de IAA é possível identificar quais foram aqueles que tiveram uma maior influência, positiva ou negativa, no valor final do IAA.

Tabela 10 – Resultado dos indicadores ambientais, dos valores parciais e final do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA), calculados para a Praia da Lagoa da Volta na Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil durante os períodos seco e chuvoso.

Lagoa da Volta	Seco		Chuvoso		Valores de Referência		
	Indicadores IAA	Resultado	IAA Parcial	Resultado	IAA Parcial	Resultado Ótimo	IAA Ótimo
pH		8,79	1,75	6,98	0	8	8,33
Temperatura da água (°C)		27,68	23,69	24,71	11,31	28	25
Salinidade		37,14	10,21	34,75	18,75	33	25
Transparência de Secchi (cm)		47,0	8,33	41,0	8,33	30	8,33
Velocidade de Corrente (m.s ⁻¹)		1,09	0	1,08	0	0,5	16,67
Velocidade do Vento (m.s ⁻¹)		27,20	0	27,10	0	12	16,67
		IAA	43,98	IAA	38,39	IAA	100

Na estação seca na Lagoa da Volta a temperatura da água, foi o indicador que mais contribuiu com a pontuação do IAA, 23,69 pontos dos 43,98 obtidos, observe que o máximo possível para esse indicador é 25 pontos. Já na estação chuvosa foram a salinidade que obteve a maior pontuação, 18,75 pontos dos 25 possíveis.

Foi verificada que os indicadores velocidade do vento e de corrente, não obtiveram pontuação alguma neste local de cultivo. Em relação à velocidade de corrente, os valores médios obtidos para estação seca e chuvosa, respectivamente 1,09 e 1,08 m.s⁻¹, foram abaixo do valor considerado como mínimo na escala do IAA (0,1 m.s⁻¹). Já quanto a velocidade do vento, os valores obtidos foram acima do máximo da escala do IAA (20 m.s⁻¹), os quais alcançaram valores médios próximos aos 27 m.s⁻¹. Não obter qualquer pontuação nestes dois indicadores fez com que o valor de IAA não se torna tão elevado.

Os valores de IAA obtidos para a Praia da Volta do Rio foram mais baixos do que os obtidos para a Lagoa do Volta tanto na estação seca como na chuvosa, na Tabela 10 estão expostos os resultados dos indicadores ambientais, os resultados parciais e finais do IAA para a Praia da Volta do Rio nos períodos seco e chuvoso.

Tabela 10 – Resultado dos indicadores ambientais, dos valores parciais e final do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA), calculados para a Praia da Volta do Rio na Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil durante os períodos seco e chuvoso.

Volta do Rio	Seco		Chuvoso		Valores de Referência	
	Indicadores IAA	Resultado	IAA Parcial	Resultado	IAA Parcial	Resultado Ótimo
pH	8,95	0,42	6,80	0	8	8,33
Temperatura da água (°C)	27,94	24,77	25,18	13,27	28	25
Salinidade	38,26	6,21	35,05	17,68	33	25
Transparência de Secchi (cm)	42,0	8,33	30,0	8,33	30	8,33
Velocidade de Corrente (m.s ⁻¹)	1,01	0	1,25	0	0,5	16,67
Velocidade do Vento (m.s ⁻¹)	25,18	0	31,14	0	12	16,67
	IAA	39,73	IAA	39,28	IAA	100

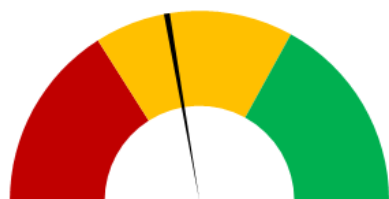
Os resultados na praia da Volta do Rio seguiram a mesma tendência que na Lagoa da Volta, no entanto com os valores menores que os obtidos nesta. Na estação seca a temperatura foi o indicador que teve maior influência na pontuação obtida, 24,77 pontos de um total de 25 pontos possíveis. Já na estação chuvosa foram à salinidade que obteve a maior pontuação, 17,68 pontos dos 25 possíveis.

Durante a estação seca não foi obtida pontuação nos indicadores velocidade de corrente e de vento, o que tem uma importante influência negativa no resultado final do IAA, como anteriormente citado. Já na estação chuvosa, além de não ter pontuado nos mesmos dois indicadores, não houve pontuação também no indicador pH, o qual obteve valor médio de 6,80, que é abaixo do limite mínimo estabelecido para este indicador no IAA (pH 7,0). A causa mais provável para esta queda do pH neste local é a influência da água doce proveniente da chuva neste local.

Na Figura 35 verificam-se as pontuações finais do IAA e os gráficos tipos *Gauge* obtidos nos monitoramentos nas praias da Lagoa da Volta e da Volta do Rio nas estações seca e chuvosa, possibilitando a comparação entre os resultados obtidos.

Figura 35 – Representação dos resultados de pontuação final nos gráficos tipos *Gauge* do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) das Praias da Lagoa da Volta no período seco (A) e chuvoso (B) e da Volta do Rio no período seco (C) e chuvoso (D).

A Lagoa da Volta - Seco



43,98 pontos = Apto

B Lagoa da Volta - Chuvoso



38,39 pontos = Apto

C Volta do Rio - Seco



39,73 pontos = Apto

D Volta do Rio - Chuvoso



39,28 pontos = Apto

Apesar de em todas as situações a classificação segundo a escala de aptidão proposta pelo IAA ter sido como “Apto”, os resultados da praia da Lagoa da Volta apontam que esta apresenta melhores condições para a algicultura no decorrer das de todo ano (estação seca e chuvosa). Neste ponto é de suma importância considerar os resultados obtidos nos cultivos experimentais, os quais foram realizados nas duas localidades durante a estação seca, momento em que os valores de IAA foram mais elevados.

Neste período, a Praia da Lagoa da Volta obteve 43,98 pontos no IAA enquanto na Praia da Volta do Rio a pontuação foi de 39,73 pontos, no entanto, quando se considera que o cultivo realizado na Lagoa da Volta apresentou desempenho 2,5 vezes maior do que o obtido na Volta do Rio, é possível concluir que o IAA pode apontar de maneira assertiva que a Lagoa da Volta é uma área mais propícia para a Algicultura, fato que valida a aplicação deste índice conforme sua finalidade.

5.2.1.3 Prospecção de Locais para Algicultura Utilizando o Aplicativo do IAA para Dispositivos Móveis.

Em relação a prospecção dos locais para a implantação de cultivos de algas temos que, entre os dez pontos avaliados temos a Praia da Barrinha foi o maior destaque alcançando 72,46 pontos, pontuação com a qual recebeu a classificação de “Muito Apta” para a implantação da algicultura. É válido salientar que entre os 10 locais este foi o único que pontuou em todos os indicadores, assim mesmo não recebendo as melhores pontuações em todos os indicadores acabou ficando com a maior pontuação no IAA registrada neste estudo.

O indicador velocidade do vento foi o que causou maior interferência negativa entre os que compõem o IAA, pois apenas a Praia da Barrinha pontuou neste item, 14,06 pontos dos 16,67 possíveis, ficando os outros nove locais sem pontuação neste indicador. Este resultado confirma uma característica do litoral Oeste do Estado do Ceará, que é conhecido pelos seus ventos fortes e constantes, fato que atrai praticantes de esportes a vela do mundo todo para esta região.

O indicador que teve a maior contribuição positiva para as pontuações obtidas do IAA foi a temperatura, no qual, devido também a estabilidade climática da região, a temperatura da água se manteve sempre muito próximo de 28 °C, considerado o valor ótimo para esse indicador no índice proposto. A Praia da Barrinha, que obteve maior valor do IAA, foi local com menor pontuação relacionada a temperatura 12,77 pontos dos 25 possíveis, já na Praia de Almofala, que obteve o terceiro melhor resultado do IAA (50,95 pontos), a temperatura foi 28 °C, proporcionando a pontuação máxima possível para este indicador (25 pontos).

Na Tabela 11 estão expostos os resultados dos indicadores ambientais, os resultados parciais e finais do IAA obtidos nas 10 localidades prospectadas durante esta pesquisa.

Tabela 11 – Resultado dos indicadores ambientais, dos valores parciais e finais do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) calculados durante a fase de teste do aplicativo IAA para dispositivos móveis, nas 10 localidades na Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil.

Indicadores IAA	Praia da Barrinha		Praia dos Patos		Praia de Almofala		Ilha dos Coqueiros		Praia de Arpoeiras		Valores de Referência	
	Resultado	IAA Parcial	Resultado	IAA Parcial	Resultado	IAA Parcial	Resultado	IAA Parcial	Resultado	IAA Parcial	Resultado Ótimo	IAA Ótimo
pH	8	8,33	8,6	7,50	7,9	3,33	7,9	7,50	8,2	6,67	8	8,33
Temperatura (°C)	25,06	12,77	28	22,94	28	25	28,6	21,25	27,6	23,36	28	25
Salinidade	35,82	14,93	36	14,28	36	14,28	38	7,14	38	7,14	33	25
Transparência de Secchi (cm)	35	8,33	50	8,33	50	8,33	30	8,33	20	5,56	30	8,33
Velocidade de Corrente (m.s ⁻¹)	0,44	14,03	1,07	0	1,01	0	1,2	0	1,03	0	0,5	16,67
Velocidade do Vento (m.s ⁻¹)	10,92	14,06	25,2	0	26,7	0	25,9	0	25,8	0	12	16,67
	IAA	72,46	IAA	53,06	IAA	50,95	IAA	44,22	IAA	42,72	IAA	100

Tabela 11

Indicadores IAA	Porto dos Barcos		Praia de Torrões		Praia do Preá		Praia do Espraiado		Praia de Imburanas		Valores de Referência	
	Resultado	IAA Parcial	Resultado	IAA Parcial	Resultado	IAA Parcial	Resultado	IAA Parcial	Resultado	IAA Parcial	Resultado Ótimo	IAA Ótimo
pH	7,3	2,50	8,2	6,67	8,3	5,83	7,9	7,50	7,6	5,00	8	8,33
Temperatura (°C)	27,8	24,19	26,2	17,52	28,6	21,25	28,5	21,88	28,9	19,38	28	25
Salinidade	39	3,57	38,4	5,71	39	3,57	40	0	45	0	33	25
Transparência de Secchi (cm)	30	8,33	40	8,33	20	5,56	20	5,56	20	5,56	30	8,33
Velocidade de Corrente (m.s ⁻¹)	1,13	0	1,03	0	1,06	0	1,03	0	1,05	0	0,5	16,67
Velocidade do Vento (m.s ⁻¹)	28,2	0	25,8	0	26,7	0	25,8	0	26,2	0	12	16,67
	IAA	38,59	IAA	38,23	IAA	36,21	IAA	34,93	IAA	29,93	IAA	100

Ao avaliar os resultados obtidos com o uso do aplicativo do IAA para dispositivos móveis tem-se a Praia da Barrinha com a maior pontuação obtida (72,46 pontos), sendo a única classificada como Muito Apta. Todas as demais praias prospectadas foram classificadas como Aptas, com exceção da praia de Imburanas que, com pontuação de 29,93 pontos, foi classificada como Pouco Apta.

É importante citar que as Praias da Lagoa da Volta e de Volta do Rio também foram classificadas como Aptas, onde foram realizados os cultivos experimentais, salientando-se o bom resultado obtidos na Lagoa da Volta.

Também é válido enfatizar outro fato importante, nas praias onde foram realizados os cultivos experimentais, os resultados do IAA no período seco (Lagoa da Volta 43,98 pontos; Volta do Rio 39,73 pontos) foram melhores que os do período chuvoso (Lagoa da Volta 38,39 pontos; Volta do Rio 39,28 pontos), assim, a tendência dos resultados do IAA das demais praias prospectadas é aumentar durante o período seco, pois as medições foram realizadas durante os meses de março, abril e maio de 2017, trimestre equivalente ao período historicamente com maior índice de chuvas na região.

Então, provavelmente, nos locais prospectados seria possível realizar o cultivo de macroalgas, mesmo as condições não sendo as melhores possíveis. O resultado obtido no cultivo experimental realizado na Lagoa da Volta ampara esta afirmativa, no entanto para confirmação desta hipótese seria necessário um maior número de visitas aos locais em diferentes períodos para apontar uma classificação do IAA mais precisa além da realização de cultivos experimentais para comprovação da potencialidade destes locais.

Marinho-Soriano; Moreira; Carneiro (2006) observaram que em julho (período seco) foi período com melhor taxa de crescimento no cultivo de *G. birdiae* realizado, o que foi explicado pela disponibilidade de luz e nutrientes para a realização da fotossíntese, corroborando com a hipótese e as observações realizadas na presente pesquisa, onde as melhores condições ambientais são observadas no período seco, tornando o ambiente mais favorável ao desenvolvimento das macroalgas.

Na Figura 33 verificam-se as pontuações finais do IAA e os gráficos tipos *Gauge* obtidos nos 10 locais prospectados no presente estudo.

Figura 33 – Representação dos resultados do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) em gráficos tipos *Gauge* das nas 10 localidades na Costa Negra, litoral Oeste do Ceará, Brasil, visitadas durante a fase de teste do aplicativo IAA para dispositivos móveis.



6. CONCLUSÕES

Foi possível realizar o cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae*, em duas praias da região da Costa Negra, no litoral oeste do Ceará, Brasil, no entanto, os resultados de desempenho do cultivo realizado na Lagoa da Volta foram muito superiores aos obtidos na Volta do Rio, mostrando que a pequena diferença observada nas condições ambientais nos dois locais refletiu em grande diferença no crescimento das algas.

Foi proposto o inédito índice de Aptidão à Algicultura (IAA) a partir da combinação de seis indicadores ambientais, o qual se mostrou eficaz na indicação da Praia da Lagoa da Volta como um melhor local para realização do cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae*, quando comparado a Praia da Volta do Rio, o que foi confirmado pelos resultados obtidos nos cultivo experimentais realizados.

Foi criado um inédito protótipo de um aplicativo do IAA para dispositivos móveis, o qual se mostrou uma ferramenta prática para o auxílio na prospecção de áreas para realização do cultivo da macroalga *Gracilaria birdiae*, pois a resposta do nível de aptidão para a algicultura é fornecido de imediato, bastando inserir no aplicativo os dados dos indicadores ambientais medidos *in loco*, sendo sua operação simples e intuitiva.

O aplicativo do IAA para dispositivos móveis pode ser considerado a principal inovação desenvolvida na presente pesquisa, o qual, após a realização de algumas melhorias, tem potencialidade para a solicitação/obtenção de patente.

Por meio da aplicação do uso do aplicativo do IAA, dentre as 10 localidades prospectadas na região da Costa Negra, no litoral oeste do Ceará, Brasil, além das duas onde foram realizados os cultivos experimentais, a Praia da Barrinha, município de Cruz-CE, foi aquela que apresentou a maior nível de aptidão a implantação da algicultura, sendo considerada Muito Apta para cultivo, sendo as praias dos Patos, Almofalas, Ilha dos Coqueiros, Arpoeiras, Porto dos Barcos, Torrões, Preá e Espraiado consideradas Aptas para a algicultura; a única considerada Pouco Apta foi a Praia de Imburanas no município de Acaraú-CE.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como contribuição científica, recomenda-se para pesquisas futuras:

- i. Atestar os resultados obtidos na prospecção realizada com o aplicativo inédito do Índice de Aptidão à Algicultura (IAA) por meio da realização de cultivos experimentais de macroalgas nestes locais;
- ii. Realizar o monitoramento das áreas prospectadas por um período de tempo mais longo, proporcionando assim uma base de dados histórica que possa fundamentar de maneira ainda mais segura os trabalhos futuros;
- iii. Aplicar o IAA em locais onde existem cultivos de macroalgas já estabelecidos e com bom desempenho técnico atestado, para verificar a eficácia deste índice e, caso seja necessário, aferir os limites e valores ótimos assumidos para este;

No intuito de melhorar o inédito aplicativo do IAA, no intuito do pedido de patente serão realizadas as seguintes melhorias/atualizações no mesmo:

- a. Melhorar o *layout* de entrada do aplicativo, corrigindo as unidades dos indicadores.
- b. Dedicar uma aba para entrada dos dados de cada indicador, contendo explicações básicas sobre cada um deles com informações técnicas e as faixas consideradas para o cálculo do IAA;
- c. Inserir um atalho que direcione para informações de marés e lua;
- d. Criar uma aba com a explicação sobre a aplicação e uso do IAA e dos métodos de medição dos indicadores;
- e. Criar uma função de armazenamento de dados e transferência dos resultados *on line*.

REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, M. C. **Esforços para estabelecer cultivos artesanais de macroalgas marinhas na Bahia.** (S. B. de Ficologia, Ed.) Anais da X Reunião Brasileira de Ficologia. **Anais...** Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2005
- ACCIOLY, M. DA C. **Manuais de Maricultura: Cultivo de Algas:** Maricultura - Brazilian Mariculture Linkage Program – Programa Brasileiro de Intercâmbio em Maricultura (BMLP). Salvador-BA: [s.n.]. Disponível em: <[http://web.uvic.ca/~soed/documents/manualalgas_2005\(b\).pdf](http://web.uvic.ca/~soed/documents/manualalgas_2005(b).pdf)>.2005. Acesso em 03/08/2015.
- ARAUJO, G. S.; RODRIGUES, J. A. G. **Marine cultivation of the red alga *Gracilaria birdiae* at Icapuí, Ceará.** *Arquivos de Ciências do Mar*, v. 44, n. 1, p. 62–68, 2011.
- ARAÚJO, P. G. **Avaliação do potencial invasor de *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) no litoral da Paraíba, Brasil.** [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2013.
- ASADUZZAMAN, M. et al. **Effects of addition of tilapia *Oreochromis niloticus* and substrates for periphyton developments on pond ecology and production in C/N-controlled freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* farming systems.** *Aquaculture*, v. 287, n. 3–4, p. 371–380, fev. 2009.
- BEZERRA, A. D. F. **Cultivo de algas marinhas como desenvolvimento de comunidades costeiras.** [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.
- BEZERRA, A. F.; MARINHO-SORIANO, E. **Cultivation of the red seaweed *Gracilaria birdiae* (*Gracilariales* , *Rhodophyta*) in tropical waters of northeast Brazil. Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 12, p. 1813–1817, 2010.
- BUSCHMANN, A. H. et al. **Red algal farming in Chile: A review.** *Aquaculture*, v. 194, n. 3–4, p. 203–220, 2001.
- CALIJURI, M. L. et al. **Estudo de indicadores de saúde ambiental e de saneamento em cidade do Norte do Brasil.** *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 14, n. 1, p. 19–28, 2009.
- CARVALHO-FILHO, J. **Algas. Uma alternativa para as comunidades pesqueiras?** *Panorama da Aquicultura*, v. 14, n. 84, p. 53–56, 2004.

CHAVES, Q. L. DE S. G. et al. **Geoquímica de sedimentos e dos substratos rochosos das praias dos Coqueiros e de Flecheiras, Ceará. Revista de Geologia**, v. 25, n. 1, p. 31–44, 2012.

CHOPIN, T.; SAWHNEY, M. **Seaweeds and their mariculture**. In: STEELE, J. H.; THORPE, S. A.; TUREKIAN, K. K. (Eds.). **The Encyclopedia of Ocean Sciences**. Oxford: Elsevier, 2009. p. 4477–4487.

COSTA, V. L.; PLASTINO, E. M. **Histórico de vida de espécimens selvagens e variantes cromáticas de Gracilaria birdiae (Gracilariales , Rhodophyta)**. **Revista brasileira de botânica**, v. 24, n. 4, p. 491–500, 2001.

FAO. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all**. Rome: [s.n.]. 2016.

GRESSLER, V. et al. **Lipid , fatty acid , protein , amino acid and ash contents in four Brazilian red algae species**. v. 120, p. 585–590, 2010.

KILINÇ, B. et al. **Seaweeds for Food and Industrial Applications**. In: **Seaweeds for food and Industrial Applications**. [s.l: s.n.]. p. 735–748. 2013.

KIM, J. K.; KRAEMER, G. P.; YARISH, C. **Field scale evaluation of seaweed aquaculture as a nutrient bioextraction strategy in Long Island Sound and the Bronx River Estuary**. **Aquaculture**, v. 433, p. 148–156, 2014.

LAVANIA-BALOO et al. **Biofiltration potential of macroalgae for ammonium removal in outdoor tank shrimp wastewater recirculation system**. **Biomass and Bioenergy**, v. 66, p. 103–109, 2014.

LELIS, F. C. L. **Avaliação do crescimento da alga marinha Gracilaria birdiae (Gracilariales, Rhodophyta), cultivada em estrutura long-line**. [Dissertação de Mestrado] Universidade Federal do Ceará, 2006.

LEONOR BRITO, L.; SILVA, S. **Fenología y ciclo de vida del alga Gracilariopsis tenuifrons (Gracilariaceae) en Sucre, Venezuela Leonor**. **Journal of Tropical Biology**, v. 53, n. Suppl. 1, p. 67–73, 2005.

MAIA, L. P. **Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de fortaleza (NE-BRASIL): Implicaciones para una gestión adecuada de la zona litoral**, p. 71, 1998. Tesis Doctoral.

MARINHO-SORIANO, E. et al. **Nutrients ' removal from aquaculture wastewater using the macroalgae *Gracilaria birdiae*. *Biomass and Bioenergy*, v. 33, n. 2, p. 327–331, 2009.**

MARINHO-SORIANO, E.; MORALES, C.; MOREIRA, W. S. C. **Cultivation of *Gracilaria* (Rhodophyta) in shrimp pond effluents in Brazil. *Aquaculture Research*, v. 33, n. 13, p. 1081–1086, 2002.**

MARINHO-SORIANO, E.; MOREIRA, W. S. C.; CARNEIRO, M. A. A. **Some Aspects of the Growth of *Gracilaria birdiae* (Gracilariales , Rhodophyta) in an Estuary in Northeast Brazil. *Aquaculture International*, v. 14, n. August, p. 327–336, 2006.**

MATTAR-NETO, J.; KRÜGER, C. M.; DZIEDZIC, M. **Analysis of environmental indicators in Passaúna reservoir. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 205–214, 2009.**

MCHUGH, D. J. **A guide to the seaweed industry: FAO Fisheries Technical Papers. Rome - Italy: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-y4765e.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2017.**

MUANGKEOW, B. et al. **Effects of white shrimp , *Litopenaeus vannamei* (Boone), and Nile tilapia , *Oreochromis niloticus* L ., stocking density on growth , nutrient conversion rate and economic return in integrated closed recirculation system. *Aquaculture*, v. 269, p. 363–376, 2007.**

MUÑOZ, J.; FREILE-PELEGRÍN, Y.; ROBLEDO, D. **Mariculture of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae) color strains in tropical waters of Yucatán, México. *Aquaculture*, v. 239, n. 1–4, p. 161–177, 2004.**

OLIVEIRA, M. N. DE et al. **Nutritive and non-nutritive attributes of washed-up seaweeds from the coast of Ceará , Brazil. *Food Chemistry*, v. 115, n. 1, p. 254–259, 2009.**

PLASTINO, E. M.; OLIVEIRA, E. C. ***Gracilaria birdiae* (Gracilariales , Rhodophyta), a new species from the tropical South American Atlantic with a ... *Phycologia*, v. 41, n. 4, p. 389–396, 2002.**

RABELO, L. S. **Indicadores de sustentabilidade: uma seqüência metodológica para a mensuração do progresso ao desenvolvimento sustentável.** [s.l.] Universidade Federal do Ceará - Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2007.

RABELO, L. S.; LIMA, P. V. P. S. **INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE: a possibilidade da mensuração do desenvolvimento sustentável. REDE - Revista Eletrônica do Prodema**, v. 1, n. 1, p. 55–76, 2007.

REIS, R. P.; BASTOS, M.; GÓES, H. G. **Cultivo de *Kappaphycus alvarezii* no litoral do Rio de Janeiro: subsídio ao monitoramento ambiental da produção em escala industrial. Panorama da Aquicultura**, n. 9, p. 42–47, 2007.

ROMO, H. et al. **Culture of *Gigartina skottsbergii* (Rhodophyta) in southern Chile. A pilot scale approach. Journal of Applied Phycology**, v. 18, n. 3–5, p. 307–314, 2006.

SANTOS, E. S. DOS et al. **Avaliação da sustentabilidade ambiental do uso de esgoto doméstico tratado na piscicultura. Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 45–54, 2011.

SANTOS, E. S. DOS et al. **Avaliação da sustentabilidade ambiental do cultivo de peixes ornamentais com reuso de água. Conex. Ci. e Tecnol.**, v. 9, n. 3, p. 15–22, 2015.

SIMÕES, M. A. **ESTUDO DE CULTIVO E DE BIOMOLÉCULAS DA MACROALGA *Gracilaria birdiae* (RHODOPHYTA, GRACILARIALES).** [Dissertação de Mestrado] Universidade Federal de Pernambuco, 2009.

SORIANO, E. M. **CULTIVO EXPERIMENTAL DE GRACILARIA NO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL.** (S. B. de Ficologia, Ed.)Anais da X Reunião Brasileira de FicologiaReunião Brasileira de Ficologia. **Anais...**Rio de Janeiro: Museu Nacional, 2005

SOUZA, B. W. S. et al. **Chemical characterization and antioxidant activity of sulfated polysaccharide from the red seaweed *Gracilaria birdiae*. Food hydrocolloids**, v. 27, n. 2, p. 287–292, 2012.

TABASSUM, M. R.; XIA, A.; MURPHY, J. D. **Potential of seaweed as a feedstock for renewable gaseous fuel production in Ireland. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, p. 136–146, 2017.

URSI, S. et al. **Intraspecific variation of photosynthesis , respiration and photoprotective carotenoids in Gracilaria birdiae (Gracilariales : Rhodophyta).** v. 142, p. 997–1007, 2003.

VASCONCELOS, A. G.; ARAÚJO, K. V. DE; SANTANA, L. DE A. B. Revista brasileira de inovação tecnológica em saúde R-BITS. **Revista Brasileira de Inovação Tecnológica em Saúde**, v. 5, n. 3, p. 27–51, 6 set. 2015.

VEERAGURUNATHAN, V. et al. **Feasibility of Gracilaria dura cultivation in the open sea on the Southeastern coast of India.** *Aquaculture*, v. 438, p. 68–74, 2015.

VIDOTTI, E. C.; ROLLEMBERG, M. D. C. E. **Algas: Da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica.** *Quimica Nova*, v. 27, n. 1, p. 139–145, 2004.

WONGPRASERT, K.; RUDTANATIP, T.; PRAIBOON, J. **Immunostimulatory activity of sulfated galactans isolated from the red seaweed Gracilaria fisheri and development of resistance against white spot syndrome virus (WSSV) in shrimp.** *Fish and Shellfish Immunology*, v. 36, n. 1, p. 52–60, 2014.

WU, H. et al. **Bioremediation using Gracilaria chouae co-cultured with Sparus macrocephalus to manage the nitrogen and phosphorous balance in an IMTA system in Xiangshan Bay , China.** *Marine Pollution Bulletin*, v. 91, n. 1, p. 272–279, 2015.