

## Uso de técnicas de geoprocessamento na identificação de áreas propícias para o cultivo de algas marinhas (*Gracillaria sp.*) na região costeira de Maxaranguape – RN

Eduardo Guilherme Gentil de Farias<sup>1,2</sup>  
João Antônio Lorenzetti<sup>1</sup>  
Leonardo Hislei Uchôa Monteiro<sup>2</sup>  
Luís Parente Maia<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{gentil, loren}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR.  
Universidade Federal do Ceará - CEP 60165-082 - Fortaleza - CE, Brasil  
leonardohislei@yahoo.com.br  
parente@labomar.ufc.br

**Abstract.** Geoprocessing techniques (GIS) can be extensively employed in a wide range of economic and governmental activities, providing subsidies for adequate planning and management. In this paper, two distinct techniques of geographic inference (boolean and AHP) were compared aiming to identify suitable areas for the culture of the macro-seaweed *Gracillaria sp.* in the coastal area of Maxaranguape - RN, northeast of Brazil. The Boolean Model involves logical combination of binary maps through conditional operators, while the Analytic Hierarchic Process logic allows to organize and to evaluate the relative importance between criteria, and to validate the consistency of the results. It requires a hierarchic structure for the model, which is generally composed by goals, criteria, sub-criteria and alternatives. The resulting maps are converted in information layers. Current velocities, depth and sediment type were employed here as decision criteria, with higher suitability proxies for areas with depths between 1.5 and 3 meters, current velocities ranging between 0.2 and 0.3m/s, and fine sediments. Results emphasize the improvement in the quality of analysis derived from the integration of diverse information gathered preferably near the coast, and also the importance of GIS for supporting environmental sustainable activities in the Brazilian coastal planning and cost reduction in seaweed farming.

**Palavras-chave:** Geoprocessing, mariculture and coastal zones.

### 1. Introdução

Nos últimos anos a produção pesqueira mundial encontra-se estabilizada em torno de 105 milhões de toneladas, sendo que a maioria dos estoques pesqueiros tradicionais encontra-se em declínio em virtude principalmente da sobrepesca e da destruição dos habitats de diversos recursos pesqueiros em virtude da crescente expansão das atividades antrópicas (FAO, 2006).

Dentro desse contexto, em virtude da crescente necessidade de consumo humano por alimentos, vem se expandindo a possibilidade da criação de recursos aquáticos em cativeiro, através de técnicas que denominamos como maricultura, que além de gerar alimento pode constituir uma alternativa para o sustento de comunidades pesqueiras defrontadas com a atual crise na pesca (Chua, 1997).

Nesse âmbito, o cultivo de algas marinhas estabeleceu-se como atividade aquícola produtiva, sendo uma importante alternativa para geração de renda, desenvolvimento e equidade social para as comunidades litorâneas do Brasil, principalmente no Nordeste (Teixeira *et al.*, 2002).

Estudos históricos, como o de Lima *et al.* (1981), obtiveram resultados promissores sobre a possível implantação do cultivo de *Gracilaria sp.* no litoral do Rio Grande do Norte, mostrando grande potencial de crescimento em zonas costeiras. Alguns anos depois Câmara Neto (1987), mostrou preocupação com a crescente depleção dos bancos naturais existentes no estado do Rio Grande do Norte, o que levou à realização de vários experimentos neste estado, embora sem resultados muito promissores para o cultivo em escala comercial. Esse resultado pode ter sido conseqüência de uma escolha inadequada de área para cultivo.

Tentando avançar nessas questões, o governo brasileiro através da Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca da Presidência da República (SEAP/PR) editou a INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 17, DE 22 DE SETEMBRO DE 2005 instituindo os *Planos Locais de Desenvolvimento da Maricultura (PLDM's)* para a identificação de áreas propícias à delimitação de parques aquícolas marinhos e estuários.

A fim de se estabelecer bases sustentáveis para a correta escolha de locais para a implantação de unidades de produção de algas visando possibilitar um aumento da produção de renda por intermédio dessa atividade, faz-se primordial o entendimento da relação entre o comportamento desse recurso frente às condições ambientais, para dessa forma maximizar a eficiência da maricultura em bases sustentáveis, de tal maneira que a máxima quantidade de algas possa ser produzida com o mínimo custo (Salles, 2006).

A adoção de técnicas de geoprocessamento vem, nesse sentido, possibilitando o desenvolvimento de estudos das peculiaridades de cada ambiente, otimizando as tarefas de análise de um volumoso e intrincado conjunto de parâmetros ambientais (Zeng *et al.*, 2003). Com isso, a partir da análise espacial dos dados interligados a um banco de dados, torna-se possível gerar informações que venham subsidiar o gerenciamento das áreas de cultivo, disponibilizando assim, informações às comunidades produtoras e órgãos de fomento das áreas afins (Tovar *et al.*, 2000). Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar o potencial do uso de duas técnicas de inferência geográfica em ambiente SIG na indicação de áreas propícias ao cultivo de algas. A região área escolhida para estudo foi a para a região costeira de Maxaranguape no litoral do estado do Rio Grande do Norte.

## 2. Área de estudo

O município de Maxaranguape (Figura 1) situa-se na mesorregião Leste Potiguar e na microrregião Litoral Nordeste, limitando-se com os municípios de Rio do Fogo, Ceará-Mirim, Taipu, Pureza, Touros e o Oceano Atlântico, abrangendo uma área de 131 km<sup>2</sup>. A sede do município tem uma altitude média de 7 m e apresenta coordenadas 05°30'57,6" de latitude sul e 35°15'43,2" de longitude oeste, distando da capital cerca de 55 km, sendo seu acesso, a partir de Natal, efetuado através das rodovias pavimentadas BR-406 e RN-160.

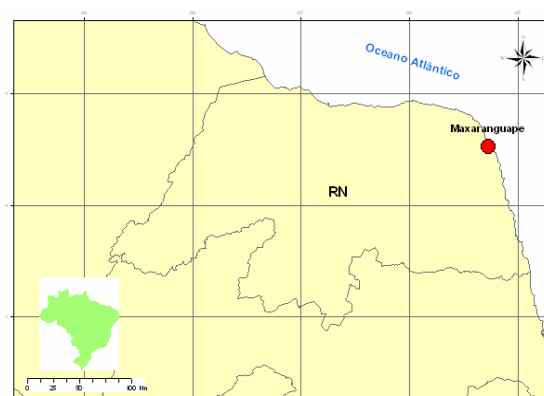


Figura 1 - Mapa de localização.

### **3. Material e Métodos**

#### **3.1 Atividades de campo**

As atividades de campo foram realizadas no dia 23 de Julho de 2006, tendo início às 11:50 horas da manhã e término às 16h30min durante o período de maré de enchente. As condições meteorológicas estimadas apresentaram ventos de 15 km/h e ondas de 0,70 m, dando condições favoráveis ao levantamento, evitando uma má condição à navegação.

Visando o melhor entendimento da dinâmica da região, foram realizados 6 perfis de correntes marinhas com ADP 3D (acoustic doppler profiler) com sensor acústico de frequência 1,5 MHz, capaz de medir perfis contínuos de intensidade e direção de correntes marinhas ao longo da coluna de água.

Foi também realizado um levantamento batimétrico na região a partir de amostragem pontual de valores de profundidade e posicionamento através do uso de GPS. As medições de profundidade foram feitas através de uma ecossonda, e posteriormente reduzidas ao nível hidrográfico da região definido pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN).

Para caracterizar o material de fundo foram coletadas 11 amostras de sedimento através de mergulho livre em áreas previamente selecionadas, visando um maior detalhamento principalmente nas regiões mais próximas à costa.

#### **3.2 Variáveis ambientais em cultivo de algas**

Segundo SEAP(2003), as condições ambientais relevantes em uma estação de cultivo são: as correntes marinhas, a salinidade, a temperatura, a profundidade e o tipo de sedimento de fundo. Para o presente estudo foram desconsideradas as análises de temperatura e salinidade, uma vez que a região apresenta temperatura constante (por volta de 25 graus Celsius) ao longo do ano e ausência de variações de salinidade.

Com relação ao fluxo de correntes num ambiente de cultivo de algas, é necessário que haja corrente marinha, pois é o movimento da água que traz nutrientes e movimenta as plantas fazendo com que elas recebam a iluminação solar. No entanto, uma correnteza muito forte pode ser um limitante para o crescimento, pois acima de um determinado tamanho, a correnteza pode produzir o rompimento das plantas, obrigando colheitas mais frequentes. Desse modo, é recomendado que o local escolhido não deva apresentar fluxos inferiores a 0,1 m/s ou superiores a 0,5 m/s.

A granulometria dos sedimentos é outro fator relevante em vários aspectos do cultivo, indicando de uma forma geral, o tipo de água e correnteza que passa pelo local, e determinando o tipo de estrutura para fixação do cultivo. Os fundos de lama são muito bons para fixar o cultivo, mas indica que haverá grande deposição de partículas finas sobre as algas, o que reduzirá o crescimento. Já fundos de areia grossa e rochosos indicam uma água muito boa para o cultivo, mas certamente haverá mais de dificuldade para a fixação, além de prováveis correntezas fortes ou ondas, o que dificultará o trabalho de manejo na água.

Com relação à batimetria, quanto maior a profundidade, maior a dificuldade de se trabalhar, especialmente na instalação e manutenção das estruturas de cultivo. Ademais, a profundidade local na baixamar nunca pode ser tão pequena de forma que as algas fiquem fora d'água.

Desse modo, adotaram-se como condições ótimas de cultivo, regiões que apresentassem profundidades variando entre 1,5 a 3 metros, com sedimentos finos e muito finos e fluxo de correntes entre 0.2 e 0.35 m/s, sendo conferido a essas variáveis nas faixas indicadas os

maiores pesos nas análises geográficas e pesos menores à medida que os parâmetros se afastassem das condições ótimas de cultivo.

### **3.3 Técnicas de inferência geográfica.**

Na maioria dos projetos desenvolvidos em SIG a principal proposta é a combinação de dados espaciais, com o objetivo de descrever e analisar interações, para fazer previsões através de modelos, e fornecer apoio nas decisões tomadas por especialistas. Atualmente, existem diversos métodos de inferência geográfica com o objetivo de reduzir as subjetividades nas interpretações de dados espaciais. Esses métodos geram como resultados planos de informação em diferentes formatos, tendo sido adotados nesse trabalho os métodos *Booleano* e AHP (Analytic Hierarchy Process).

O Modelo *Booleano* envolve combinação lógica de mapas binários através de operadores condicionais. Cada mapa utilizado como uma condição pode ser entendido como um plano de informação (evidência). Os vários planos de informação são combinados para dar suporte a uma hipótese ou preposição. Cada localização é então testada, para determinar se as evidências nesse ponto satisfazem ou não as regras definidas pela hipótese. O resultado é expresso de forma binária, “0” (hipótese não satisfeita) ou “1” (hipótese satisfeita), não sendo possível a condição “talvez”. Embora prático, normalmente não é o método mais adequado, pois o ideal é que as evidências, que apresentam importâncias relativas diferentes, recebam diferentes valores de pesos (Reichel, 1998).

A AHP é uma teoria matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. Requer a estruturação de um modelo hierárquico, o qual geralmente é composto por meta, critérios, sub-critérios e alternativas; e um processo de comparação pareada, por importância relativa, preferências ou probabilidade, entre dois critérios, com relação ao critério no nível superior. Com base na comparação, a AHP pondera todos os sub-critérios e critérios e calcula um valor de razão de consistência entre [0, 1], com 0 indicando a completa consistência do processo de julgamento, assim leva-se em consideração diferentes pesos para cada variável (Dagdeviren e Yüksel, 2008).

Dessa forma, tentando analisar e identificar espacialmente os locais mais adequados para a implantação de uma estação de cultivo de algas, foram cruzados dados referentes ao fluxo de correntes, batimetria e granulometria de sedimentos.

### **3.4 Ambiente computacional.**

Os dados foram processados e organizados no software SPRING 4.3.3. Também foram desenvolvidos programas computacionais na linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico). Assim, no ambiente SPRING, foram criados um banco de dados, o projeto, as categorias e os planos de informação referentes a cada tipo de informação.

As categorias referentes ao modelo numérico de terreno contém os dados numéricos tais como: batimetria, matrizes de valores de velocidade de fluxo de correntes, ponderações, bem como todos os PI's gerados a partir destes dados que resultaram grades (matrizes). As categorias temáticas contém todos os PI's com temas tais como: fatiamento, mascaras etc., gerados a partir dos PI's de modelo numérico.

Após a realização do fatiamento dos PI's referentes a batimetria, correntes marinhas e granulometria dos sedimentos, foi empregada a técnica de inferência booleana, visando classificar os níveis de aptidão da região para a implantação de projetos de cultivo de algas marinhas. Como resultado, obteve-se um PI temático indicando os índices de favorabilidade para o cultivo de algas na região.

Com relação à técnica AHP, foram conferidos diferentes pesos para os atributos analisados (batimetria, correntes e granulometria). Inicialmente a grade numérica das variáveis foi transformada para espaço de referência entre 0 e 1, visando realizar uma ponderação dos intervalos. Tal operação é requisito primordial para a análise AHP. Através da nova grade ponderada, foram obtidos os pesos das variáveis de acordo com a relação de importância relativa das mesmas. Nesse projeto foram analisadas três variáveis (correntes marinhas, profundidade e substrato), tendo-se obtido o valor da razão de consistência de 0,081, o que sugere alta consistência de julgamento. Foram utilizados diferentes pesos para as variáveis analisadas. A maior importância foi atribuída à classe de solos, em virtude desta ser um importante limitante para a escolha do local adequado para a implantação de cultivos.

#### 4. Resultados e Discussão

Como indicado na Figura 2, o levantamento batimétrico mostra que a conformação do relevo submerso da região apresentou cotas máximas de -8,5m, com isobatimétricas apresentando variação suave do gradiente de declividade do fundo. Os maiores gradientes batimétricos estão situados próximos à costa, com aumento gradativo da profundidade em direção a mar aberto. As cotas são em geral paralelas à costa, sendo esse padrão interrompido em alguns pontos por algumas depressões.

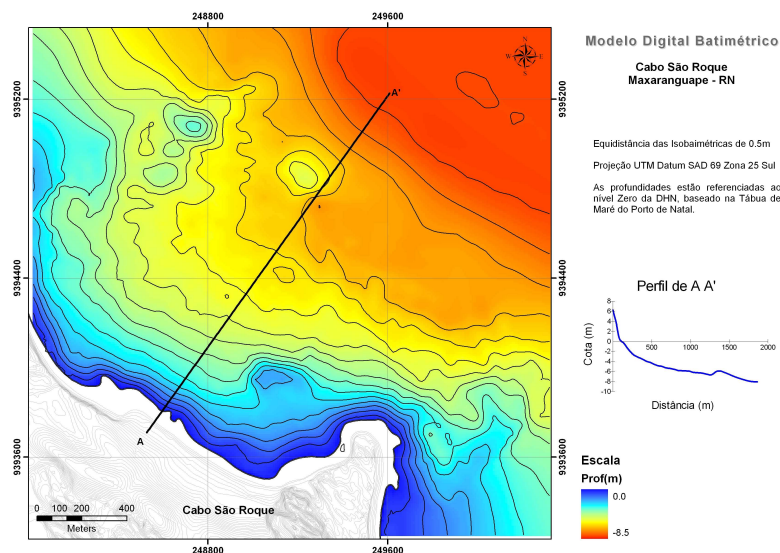


Figura 2 – Mapeamento Batimétrico.

Os resultados obtidos através do monitoramento do fluxo de correntes, vistos na Figura 3, mostram um escoamento paralelo à costa, predominante de SE para NW, com a direção de fluxo variando entre 330 a 350 graus indicando uma significativa homogeneidade desta variável física na região em estudo. Têm-se em quase todos os perfis de velocidade um aumento da velocidade nas regiões mais distantes da linha de costa. Este efeito é esperado, sendo causado pela condição lateral de não deslizamento da corrente na costa (*no slip condition*) e o aumento do atrito de fundo, que cresce com a diminuição da profundidade.

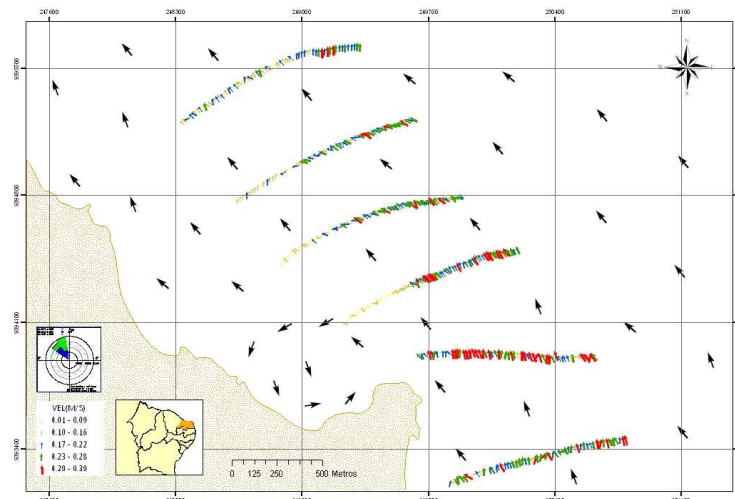


Figura 3 – Mapa de correntes marinhas.

Outro fator relevante nessa região é a influência do cabo de São Roque na porção inferior da linha de costa sobre a direção e intensidade das correntes. A interação do fluxo de SE com o cabo induz um vórtice de circulação anti-horária (vórtice anti-ciclônico) ao N do cabo e próximo da costa, fazendo com que o padrão de circulação na enseada aí presente seja bastante diferente daquela observada no restante da região. Alfredini (2005) discute o efeito de obstáculos tais como um cabo sobre o escoamento como geradores de vórtices.

Através da análise sedimentar foi possível evidenciar a existência de sete classes granulométricas distintas ao longo de toda a região em estudo, havendo preponderância de silte grosso e silte médio em todo o trecho e de areia muito fina na área margeada pela enseada (Figura 4). É possível que o padrão distinto dos sedimentos a jusante do Cabo na região da enseada seja resultado da presença do vórtice anti-horário na região, que com sua circulação fechada deve inibir o transporte do material mais fino.

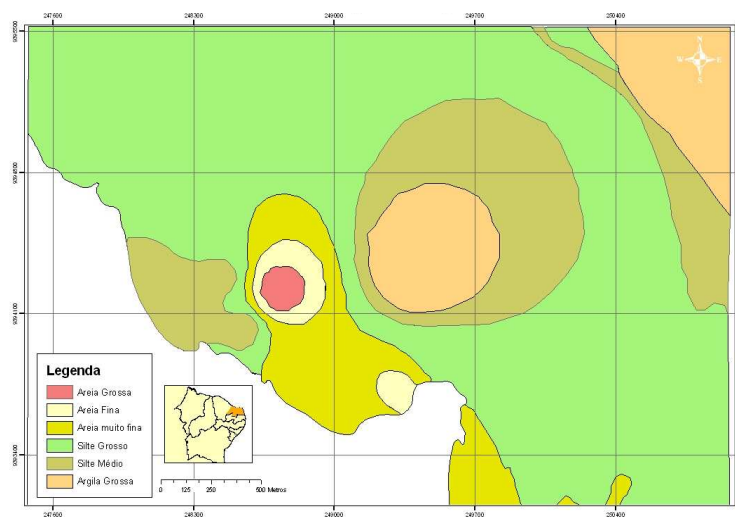


Figura 4 – Mapa de granulometria.

Os mapas de grau de favorabilidade para a maricultura de algas, gerados através das técnicas Booleana e AHP são apresentados na Figura 5 e Figura 6, respectivamente. Os resultados indicam que a ótima implantação de projetos dessa natureza na região deve se localizar onde as cotas batimétricas encontram-se entre -1,5 a -3 m de profundidade, com granulometria sedimentar entre areia fina e areia muito fina e velocidade de fluxo de correntes em torno de 0,2 a 0,3 m/s. No entanto, algumas diferenças podem ser observadas nos mapas

gerados pelas duas técnicas. A técnica booleana, por não considerar a importância relativa de cada variável no fenômeno estudado, apresentou áreas menores, referentes aos graus de favorabilidade, em relação aos resultados da técnica AHP. Esta última considerou uma importância maior para a granulometria sedimentar, como fator preponderante para escolha de áreas propícias a implantação de projetos de cultivo de algas. Vê-se que a técnica AHP estende como de alta favorabilidade uma ampla região da baía a norte do Cabo e amplia a área a sul do Cabo, também classificada como de alta favorabilidade pelo método Booleano.

A técnica booleana, por sua vez, devido à limitação do método, que desconsidera a avaliação da importância relativa entre critérios e a mensuração da consistência dos julgamentos, apresentou delimitação de regiões menores para a implantação de projetos de maricultura, bem como amplas áreas aonde o método não conseguiu identificar o grau de favorabilidade uma vez que estes não se apresentaram nos intervalos pré-estabelecidos.

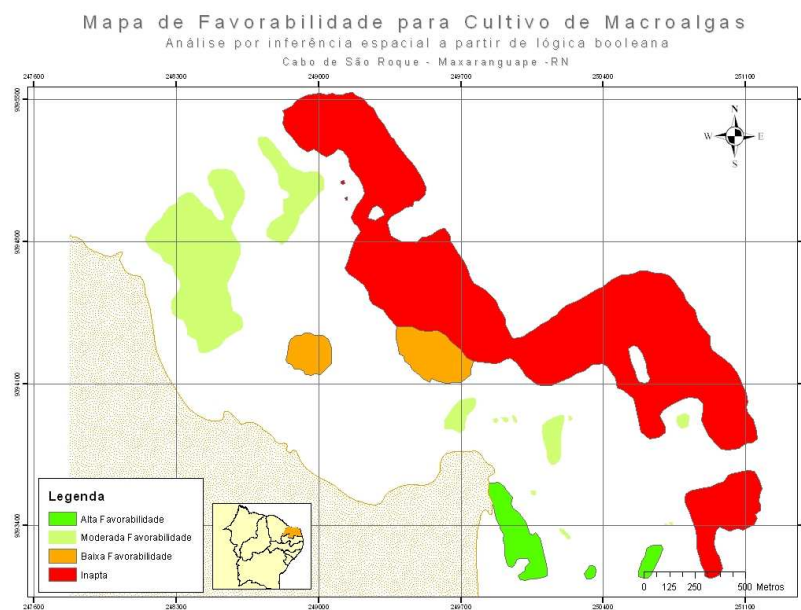


Figura 5 – Mapa de favorabilidade booleano.

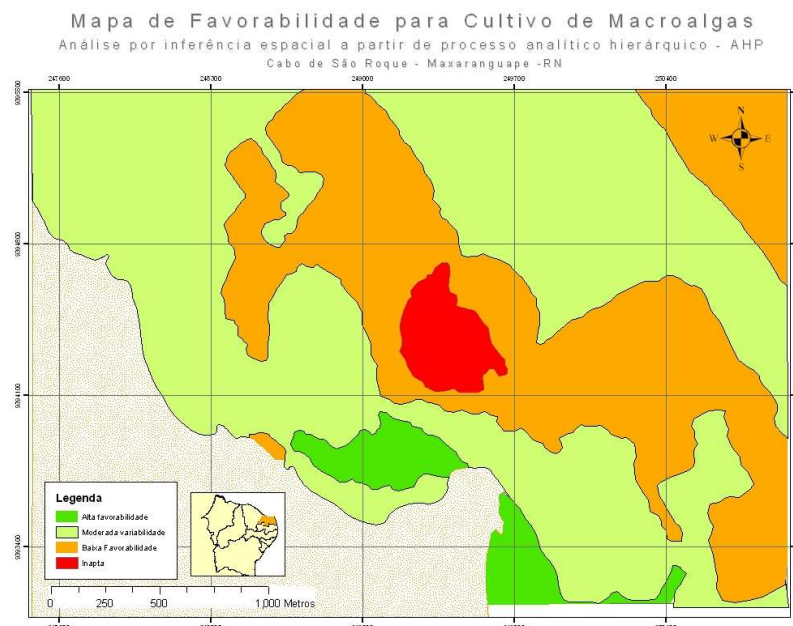


Figura 6 – Mapa de favorabilidade AHP.

## 5. Conclusões

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a potencialidade da utilização de técnicas de inferência geográfica em SIG na indicação de áreas propícias ao cultivo de algas para a região costeira de Maxaranguape. A adoção de ferramentas SIG na maricultura representa um importante recurso para a otimização de custos e melhoria da qualidade de análises que integram diversas informações. A partir da base de dados disponível são indicadas para a região de estudo as áreas com maior favorabilidade. Indica-se que os resultados obtidos pela análise AHP sejam mais confiáveis que aqueles fornecidos pela técnica Booleana.

É evidente que a qualidade e confiabilidade nos resultados das análises por SIG é extremamente dependente da existência de uma base de dados ambientais de boa qualidade, que represente adequadamente as variabilidades da dinâmica de escoamento e demais variáveis relevantes para o cultivo de algas.

A adoção da maricultura sustentável em zonas costeiras pode ainda auxiliar na redução dos impactos da pesca predatória sobre recursos já em estado crítico como a lagosta, por exemplo. Uma vez que a geração de renda através do cultivo de algas reduziria substancialmente a pressão da pesca sobre as populações impactadas principalmente em períodos de defeso.

## 6. Referências Bibliográficas

Alfredini, P. **Obras e gestão de portos e costas**. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blunchen. 687 p. 2005.

Câmara-Neto, C. Seaweed culture in Rio Grande do Norte, Brazil. **Hydrobiologia**. Vol. 151. p.p 363-367. 1987

Chua, T. **Sustainable** aquaculture and integrated coastal management. In BARDACH, J. E. (ed.), **Sustainable aquaculture**. New York: John Wiley and Sons, p. 177-99. 1997.

Dagdeviren M.; Yüksel I. Developing a fuzzy analytic hierarchy process (AHP) model for behavior-based safety management. **Information Sciences**. Vol. 178, p.p. 1717–1733. 2008.

FAO. **El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2006**. FAO. 2006.

Lima, A. M.; Câmara-Neto, C.; Oliveira, E.C.; Araújo, R. A. **Cultivo experimental de *Hipnea musciformis* e *Gracilaria sp.* em áreas protegidas por antigas linhas de costa (recifes) no litoral do Rio Grande do Norte**. Projeto Algas. Estado do Rio Grande do Norte. Estudos de Pesca, SUDENE. 1981.

Reichel H. Dialgebraic Logics. **Electronic Notes in Theoretical Computer Science**. Vol 11, p.p. 1-9. 1998.

Salles, J. P. **Potencial de cultivo de *Gracilaria córnea* em módulos submersos afastados da costa**. Florianópolis. p 33. Dissertação (Mestrado em Aquicultura) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SECRETARIA ESPECIAL DE AQUICULTURA E PESCA - SEAP. **Manual de Maricultura – Cultivo de Algas**. [http://www.presidencia.gov.br/estrutura\\_presidencia/seap/publicacoes/](http://www.presidencia.gov.br/estrutura_presidencia/seap/publicacoes/). Acesso em 06 de Junho de 2008.

Teixeira, D. I. A.; Bezerra, C. A. B.; Chaves, R. V. O.; Masih Neto, T.; Sousa, B. W. S. **Cultivo de alga marinha *Gracilaria sp.* nas praias de Flecheiras e Guagiru – Ceará – Brasil**. IX Reunião Brasileira de Ficologia, Santa Cruz, Espírito Santo. p 95. 2002.

Tovar, A.; Moreno, C.; Manuel-Vez, M.P.; García-Vargas, M. Environmental impacts of intensive aquaculture in marine waters. **Water Research**, Great Britain, v.34, n.1, p.334-342, 2000.

Zeng TQ, Dorman F, Ogburn D, Derwent L, Williams R. **Aquaculture management with geographical information systems (GIS) in NSW fisheries, Australia**. In: Woodroffe CD, Furness RA, editors. Coastal GIS 2003: an integrated approach to Australian coastal issues, vol. 14, p. p454–66.; 2003.