

PRODUÇÃO PRIMÁRIA MÉDIA DA COSTA LESTE AUSTRALIANA NO PERÍODO DE JANEIRO DE 2011 A JANEIRO DE 2012 POR IMAGENS DO SENSOR MODIS

Thuareag dos Santos ^{1,3}, Fábio Salimos ²

¹ Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Biológicas, Campus Universitário do Guamá, CEP 66075-110, Belém, PA, Brasil. E-mail: thuareag@gmail.com

² Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Laboratório de Oceanografia Química, Campus Universitário do Guamá, CEP 66075-110, Belém, PA, Brasil.

RESUMO

Este trabalho teve como principal objetivo avaliar a produção primária média anual da costa leste Australiana (164°17'31,2" L e 11°2'31,2" S: 142°27'28,8" L e 47°37'30" S) no período compreendido de janeiro de 2011 a janeiro de 2012, região na qual está inserida a Grande Barreira de Recifes de Corais. Os parâmetros analisados para estimar a produtividade primária da região foram: a média anual do carbono inorgânico dissolvido (CID), temperatura da superfície do mar (TSM) e clorofila. Os dados foram obtidos através do endereço eletrônico da agência espacial norte-americana (NASA) (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>) e tratados utilizando o programa *ArcGIS versão 10.1. Como um ambiente de alta produtividade, as concentrações de clorofila nos recifes apresentaram altos valores, assim como os níveis de CID, pois através deste componente se constrói as estruturas recifais, além de valores pré-estabelecidos de TSM, um dos mais importantes parâmetros no desenvolvimento do ecossistema.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto, Recifes de coral, Grande Barreira de Recifes.

Abstract

Average primary production of the Australian east coast of January 2011 January 2012 in sensor images MODIS

This work aimed to evaluate the average annual primary production of Australian east coast (164°17'31.2" W and 11°2'31.2" S: 142°27'28.8" W and 47°37'30" S) in the period January 2011 to January 2012, the region where it operates the Great Barrier Reef corals. The parameters analyzed to estimate the primary productivity of the region were: the average annual dissolved inorganic carbon (DIC), sea surface temperature (SST) and chlorophyll. Data were obtained from the electronic address of the U.S. space agency (NASA) (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>) and processed using ArcGIS version 10.1 for Windows. As an environment of high productivity, chlorophyll concentrations on reefs showed high values, as well as levels of CID, because through this component are constructed reef structures, in addition to pre-established values of SST, one of the most important parameters in the development ecosystem.

Key Words: Remote Sensing, Coral reefs, Great Barrier Reef.

INTRODUÇÃO

Recifes tropicais representam um ecossistema marinho de alta diversidade e produtividade (Stanley Jr., 2003), sendo considerado um dos mais complexos e produtivos dos ecossistemas marinhos costeiros (Connell, 1978). Estes ambientes são verdadeiros repositórios de biodiversidade, renovando estoques, e principalmente no caso de áreas protegidas, favorecendo a reprodução de populações de espécies ameaçadas de extinção (Goreau & Hayes, 1994; Leão *et al.*, 2009). Eles fornecem alimento, sendo a

principal fonte de recursos econômicos para centenas de milhares de pessoas que vivem nas regiões tropicais do planeta (Moberg & Folke, 1999).

Os corais se desenvolvem em águas marinhas tropicais límpidas e relativamente pobres em nutrientes estando eles distribuídos por todo o planeta, entre as isotermas de 20°C. Corais construtores de recifes não toleram águas com temperaturas menores que 18°, tendo o seu crescimento ótimo entre 23° e 29°C. Embora alguns corais sobrevivam a temperaturas acima de 40°C, e necessitem de águas com salinidade elevada (32 - 42).

São abundantes em certas áreas da costa leste das Américas, África e Austrália, e menos comuns no litoral oeste desses continentes. Podem alcançar extremos de mais de 300 metros de espessura (entre a superfície e a base vulcânica) e mais de 2.000 quilômetros de extensão, como a grande barreira de recifes de corais da Austrália. Os corais zooxantelados possuem dinoflagelados simbióticos (zooxantelas), que aproveitam diretamente elementos produzidos pelo processo fotossintético (Stanley Jr, 2003). Altos níveis de luz também são necessários para a construção dos recifes, limitando-os à zona eufótica.

Os recifes de coral são considerados verdadeiros oásis de produtividade nos oceanos, pois possuem características especiais como uma grande capacidade de reciclagem dos nutrientes, além de uma excelente combinação de luminosidade, temperatura elevada e movimentos hidrodinâmicos que distribuem os nutrientes, que podem chegar a 1.500-5.000 gC/m² ao ano, sendo que quase a totalidade é consumida pela própria comunidade.

Para quantificar a produtividade primária dos oceanos e caracterizar sua variabilidade em escalas regional e global, são necessárias medições frequentes, bem distribuídas e com grande cobertura espacial. Esta amostragem é impossível de ser conduzida somente por métodos tradicionais *in situ*, principalmente em grandes regiões. A utilização do sensoriamento remoto a nível orbital permite que esta abordagem espacial global seja realizada se as medições radiométricas obtidas por satélites puderem ser interpretadas quantitativamente em termos de produtividade primária (Berthelot & Deschamps, 1994).

O emprego de imagens de sensoriamento remoto para análise da cor do oceano fornece séries temporais apropriadas ao estudo, do tipo de pigmentos de fitoplâncton e de material dissolvido na coluna d'água (Ferreira *et al.*, 2013). A imagem do sensor AQUA-MODIS tem sido amplamente utilizada nas medições de qualidade de água, incluindo medidas da cor da superfície do mar, fitoplâncton (clorofila-a), material particulado em suspensão, matéria orgânica particulada, turbidez, carbono inorgânico dissolvido, temperatura da superfície do mar (Hu *et al.*, 2004; Muhairi *et al.*, 2009; Amaro & Ferreira, 2012).

Dentro da área de estudo do presente trabalho

está situada a grande barreira de recifes de coral. A Grande Barreira de Corais é composta por aproximadamente 350 espécies de corais duros, e é lar de mais de 4.000 espécies de moluscos, 1.500 espécies de peixes e 240 espécies de aves marinhas. Além disso, há muitas espécies de macrobentos; contudo, o conhecimento sobre as espécies pertencentes à micro e a meiofauna permanecem desconhecidos.

Devido à complexidade e importância desse ambiente, este trabalho teve como principal objetivo avaliar a produção primária média anual da costa leste Australiana no período compreendido de janeiro de 2011 a janeiro de 2012.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo do presente trabalho situa-se na costa leste da Austrália (11°2'31,2" S; 164°17'31,2" L e 47°37'30" S; 142°27'28,8" L) (Figura 1). As principais forçantes atuantes na região são: a Corrente Leste da Austrália, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e o grande giro do Pacífico sul. A Corrente Leste da Austrália corresponde ao limite ocidental do hemisfério sul, e traz água aquecida no sentido horário, com alterações sazonais a corrente enfraquece no inverno (Tomczak, 2002). É caracterizada como a mais fraca de todas as correntes de contorno, carregando apenas cerca de 15 Sv na média anual de cerca de 30° S, e que está associada a fortes instabilidades.

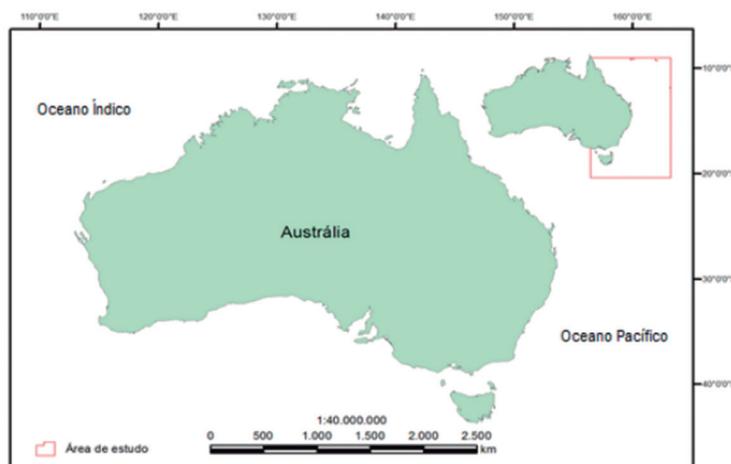


Figura 1: Mapa da área de estudo.

Análise de dados

O sensor MODIS é parte do programa integrado da National Aeronautics and Space Administration - Earth Observing System (NASA-EOS) consistindo

em satélites projetados para inventários de terra, água e atmosfera. A bordo das plataformas AQUA e TERRA possui 36 bandas espectrais entre 459-1.390 nm e produz imagens com 250 m, 500 m, e 1 km de resolução espacial. Do conjunto de bandas disponíveis, 2 bandas possuem resolução espacial de 250 m no nadir, 5 bandas apresentam resolução de 500 m e as demais 29 bandas possuem resolução espacial de 1 km, sendo que, somente as bandas 8 a 16 são utilizadas para as observações oceânicas. O sensor Moderate Resolution Imaging Spectrometer a bordo da plataforma Aqua (MODIS-Aqua) foi escolhido para este trabalho.

O acesso ao website ocorreu no dia 14/03/2013, sendo os parâmetros selecionados para o trabalho a clorofila (mg/m^3), temperatura da superfície do mar ($^{\circ}\text{C}$) e carbono inorgânico dissolvido (mol/m^3) foram adquiridos em resolução temporal anual (de janeiro de 2011 a janeiro de 2012) e espacial de 9km. Todos os dados destes parâmetros são apresentados na categoria Standard, ou seja, são aqueles amplamente calibrados e utilizados pela comunidade científica internacional.

Os dados numéricos da temperatura da superfície do mar (TSM), carbono inorgânico dissolvido (CID) e clorofila (Cla) foram descarregados no formato *ascii e as imagens no formato *gif. E então, após os dados numéricos serem filtrados no programa *textpad, os mesmos são repassados para o programa *Microsoft Office Excel, para que possam ser visualizados no programa *ArcGIS versão 10.1 e então serem processados para a geração das imagens.

Para a confecção dos mapas da área de estudo foi utilizado o programa *ArcGIS versão 10.1, utilizando-se um shape file pré-existente do globo terrestre, porém tendo sido delimitada dentro das coordenadas em que se pretendia realizar o trabalho (Costa Leste Australiana). A interpolação dos dados foi realizada através do método de krigagem (Kriging), onde se interpola uma superfície de raster através de pontos. Essa opção possui em média acerto de 95,5%, sendo possível a inserção de uma legenda colorida, representando os valores de TSM, CIP e Cla ao longo da área selecionada.

RESULTADOS

O emprego de imagens orbitais do sensor AQUA-MODIS permitiu a comparação bidimensional simultânea da variabilidade física (Temperatura), da biomassa fitoplanctônica na superfície do mar (Clorofila-a) e do total de carbono inorgânico dissolvido (CID). Esta análise de valores espacializados de TSM, CID e Clorofila-a, simultaneamente são uma avaliação excelente das

condições ambientais, uma vez que os processos físicos marcados pela variação de temperatura colaboram para o desenvolvimento fitoplanctônico e alterações desses parâmetros podem ser corretamente avaliadas.

A imagem mostra claramente um aumento da temperatura em direção às baixas latitudes (Figura 2), alcançando seu máximo entre as latitudes de 20°S e 15°S de 27°C e seu mínimo abaixo da latitude de 45°S possuindo aproximadamente 7°C .

A imagem mostra uma maior concentração

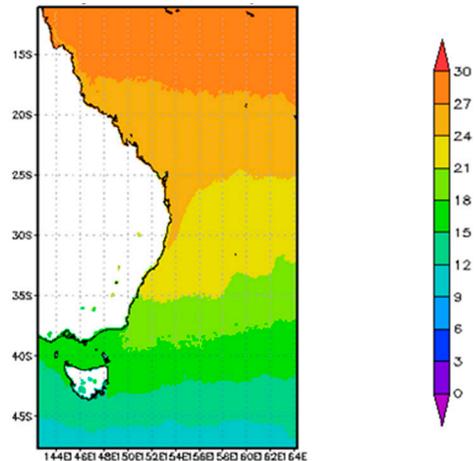


Figura 2. Imagem da Temperatura da Superfície do Mar média do sensor AQUA-MODIS do período de 2011 a 2012.

de CID na região situada nas proximidades do continente com valores superiores a $0,002 \text{ mol}/\text{m}^3$ (Figura 3) e as menores concentrações encontradas em mar aberto ($<0,0002 \text{ mol}/\text{m}^3$).

Quanto à clorofila-a, maiores concentrações

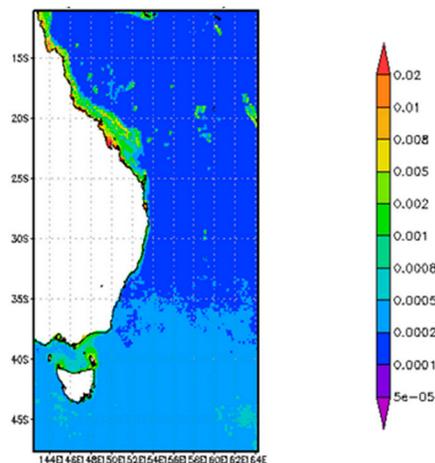


Figura 3. Imagem do Carbono Inorgânico Dissolvido média do sensor AQUA-MODIS do período de 2011 a 2012.

sempre foram encontrados nas regiões mais próximas do continente e na região onde se encontra a Grande Barreira de Recifes (Figura 4) com valores superiores a $2,5 \text{ mg/m}^3$, e as menores concentrações encontradas em mar aberto ($<0,08 \text{ mg/m}^3$).

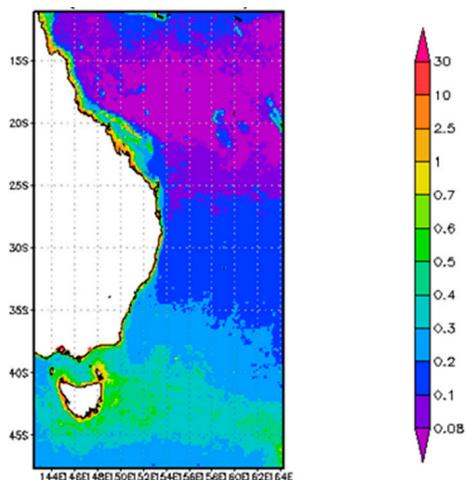


Figura 4. Imagem da concentração de Clorofila média do sensor AQUA-MODIS do período de 2011 a 2012.

DISCUSSÃO

A caracterização temporal e espacial da produtividade primária tem sido um tópico de grande interesse da oceanografia há algumas décadas, uma vez que a principal base trófica nos oceanos depende da fotossíntese realizada pelo fitoplâncton marinho. Segundo Berthelot & Deschamps (1994), a utilização do sensoriamento remoto em nível orbital permite que esta abordagem espacial global seja realizada e os resultados podem ser interpretados em termos de produtividade primária.

A absorção seletiva dos comprimentos de onda nas faixas do azul e verde do espectro eletromagnético pelos pigmentos fotossintéticos possibilita a quantificação da biomassa fitoplanctônica oceânica através de medidas da cor do oceano obtidas por satélite (Gordon & Morel, 1983). As concentrações de clorofila dependem dos padrões de circulação oceânica e processos físicos de diferentes escalas, esses processos por sua vez influenciam nos fluxos de nutrientes. Juntamente com outros dados ambientais tais como, temperatura da superfície do mar, concentração de carbono inorgânico, os dados de clorofila-a podem ser utilizados para estimar a produtividade primária marinha em qualquer região do oceano (Antoine *et al.*, 1996; Behrenfeld & Falkowski, 1997).

Mesmo que os resultados de estimativa de produção primária baseados em dados de sensoriamento remoto ainda representem certa incerteza quando comparados a dados obtidos *in situ*, a cobertura espacial e temporal obtida através dos dados de satélites os torna uma importante ferramenta de pesquisa (Carr, 2002). Variações na concentração de fitoplâncton na camada superficial do oceano têm impacto significativo nos processos biológicos, físicos e geoquímicos. O fitoplâncton utiliza a energia solar para converter matéria inorgânica em orgânica. Em escala global, ele remove o Carbono Inorgânico da água, reduzindo a pressão parcial do dióxido de carbono nas camadas superficiais. A irradiância solar absorvida pelo fitoplâncton pode contribuir para o aquecimento localizado de certas regiões oceânicas, influenciando assim o desenvolvimento da estrutura termal e dinâmica da camada superficial do oceano.

Segundo Morel *et al.* (1996), em todos os estudos voltados aos fluxos biogeoquímicos, o elo essencial na cadeia é o processo biológico da produção primária. Este processo por sua vez tem duas consequências: a fixação do Carbono Inorgânico Dissolvido e a síntese do Carbono Particulado nas camadas superiores. Portanto, a utilização do sensoriamento remoto orbital em estudos de produtividade pode-se basear em: (1) o fitoplâncton pode ser quantificado em termos de Concentração de Clorofila-a na camada superficial e este valor pode ser integrado para a coluna d'água (Morel & Berthon, 1989); e (2) modelos são capazes de transformar os valores de Clorofila-a em mapas de produtividade primária.

Os ecossistemas recifais são extremamente sensíveis a variações da temperatura das águas oceânicas (Glynn, 1993). Um aumento relativamente pequeno da temperatura das águas superficiais pode provocar a ocorrência do branqueamento, que é um processo relacionado à perda, pelos corais, das algas fotossintetizantes (zooxantela). Estas por sua vez, além de darem a cor ao coral, produzem componentes orgânicos que lhes servem de alimento e, em contrapartida, o coral provê abrigo para as algas e lhes fornece elementos químicos necessários à sua sobrevivência (Muscatine, 1990; Stanley Jr., 2006).

Essa grande concentração de CID provavelmente se deve ao fato de nessa região estar situada a Grande Barreira de Recifes de Corais. Os recifes de corais situados nas zonas costeiras são caracterizados pela abundância e diversidade de organismos calcificadores e pela alta produtividade primária (Gattuso *et al.*, 1999; Kaplan, 1982). Além dos processos de calcificação, os corais escleractíneos

zooxantelados mantêm uma relação de simbiose com dinoflagelados (zooxantelas) contribuindo para a mobilização do CID e também elevando a concentração de oxigênio dissolvido na água do mar através da fotossíntese (Goreau *et al.*, 1979; Rivera, 1994; Leclercq *et al.*, 2000). Além dos organismos calcificadores, existe uma diversidade de organismos autotróficos (microfitobentos, macroalgas) que utilizam CID em suas atividades metabólicas.

No sistema recifal, a produtividade é bem maior pelo fitobentos do que pelo fitoplâncton, em virtude da presença das zooxantelas simbióticas dos corais e macroalgas. Entretanto, a comunidade planctônica exerce um papel fundamental para a nutrição e manutenção de inúmeros organismos sésseis e sedentários, que são filtradores e coabitam este ambiente, inclusive os pólipos dos corais. Estes distintos resultados podem indicar que a importância relativa dos produtores primários deve variar de acordo com as características do ambiente recifal considerado e com a sua estrutura de comunidade dominante. Estas modificações na estrutura das comunidades implicam em mudanças na armazenagem e fluxos de carbono orgânico nos recifes, com consequências sobre o seu metabolismo e das áreas adjacentes (Barrón *et al.*, 2003).

CONCLUSÃO

Através do presente trabalho foi possível perceber a notável importância de fatores abióticos como CID e temperatura para que pudesse haver a estruturação e desenvolvimento dos ecossistemas de recifes. A TSM deve estar ocupando uma faixa ótima para que os organismos simbiotes (zooxantelas) realizem a fotossíntese, já que pequenas alterações desestruturam o ecossistema, causando sua morte.

Os valores de CID também são altos na área que compreende a grande barreira de corais quando comparado ao restante da área de estudo, justamente pela utilização do CID na bioconstrução dos recifes e para a realização da fotossíntese.

Os níveis de clorofila se mostram muito altos na zona dos recifes, refletindo o motivo desse ser considerado o ambiente mais produtivo de todos, com valores de produção muitas vezes maior que os ecossistemas terrestres, no caso principalmente a partir da atividade do fitobentos.

A utilização de sensores remotos como o AQUA-MODIS se mostrou uma ferramenta muito útil e poderosa para estudos de grandes áreas oceânicas.

Por fim, os resultados apresentados

demonstraram a potencialidade do uso de imagens do sensor AQUA-MODIS para a avaliação da produção primária de áreas offshore quanto aos dados de temperatura, carbono inorgânico dissolvido e concentração de Clorofila-a na superfície do mar. Além disso, a interpretação criteriosa das imagens, combinadas com dados *in situ*, pode prover subsídios para melhor avaliações quanto às características do ambiente desde que respeitadas às limitações da resolução espacial das imagens.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os integrantes do Laboratório de Imagens do Trópico da Universidade Federal do Pará, pela ajuda prestada durante esse estudo, e aos revisores pelas diversas sugestões para a melhoria desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARO, V.E. & FERREIRA, A.T.S. 2012. Imagens do AQUAMODIS aplicadas à estimativa dos valores de clorofila-a e da temperatura da superfície do mar na zona offshore da Bacia Potiguar no Rio Grande do Norte. *Revista de Geologia*, UFC, Edição Especial HIDROSEMA, v. 25: p.128 - 142.
- ANTONIONE, D., ANDRE, J.M. & MOREL, A. 1996. Oceanic primary production 2. Estimation at global scale from satellite (coastal zone color scanner) chlorophyll observations. *Global Biogeochemical Cycles*. 10: 43 – 55.
- BARRÓN, C., TMARBA, N., DUARTE, C.M., PEDERSEN, M.F., LINDBLAD, C., KERSTING, K., MOY, F. & BOKN, T. 2003. High Organic Carbon Export Precludes Eutrophication Responses in Experimental Rocky Shore Communities. *Ecosystems*. 6: 144 – 153.
- BEHRENFELD, M.J & FALKOSKI, P.G. 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. *Limnology and Oceanography*. 42 (7): 1479 – 1491.
- BERTHELOT, B & DESCHAMPS, P.Y. 1994. Evaluation of bio-optical algorithms to remotely sense marine primary production from space. *Journal of Geophysical Research*. 99: 7979 - 7989.
- CARR, M. E. 2002. Estimation of potential productivity in Eastern Boundary Currents using remote sensing. *Deep-Sea Research. II*. 49: 59 – 80.
- CONNELL, J.H. 1978. Diversity in tropical rain forest and coral reef. *Science*. 199(4335): 1302 -

1310.

- FERREIRA, A.T.S, AMARO, V.A. & SANTOS, M.S.T. 2013. Levantamentos geodésicos de precisão para integração de dados topográficos e batimétricos na caracterização de superfícies de praia. *Revista Brasileira de Cartografia*
- GATTUSO, J.P., ALLEMAND, D. & FRANKIGNOULE, M. 1999. Photosynthesis and calcification at cellular, organismal and community levels in coral: a review on interactions and control by carbonate chemistry. *American Zoologic*. 39: 160 - 183.
- GLYNN, P.W. 1993. Coral reef bleaching: ecological perspective. *Coral Reefs*. 129(1): 1 - 17.
- GORDON, H.R & MOREL, A. 1983. *Remote assessment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery: a review*. New York, Springer-Verlag. 144 p.
- GOREAU, T. F., GOREAU, N. I. & GOREAU, T. J. 1979. Corals and Coral Reefs. Reimpresso pela *Scientific American*.
- GOREAU, T. J. & HAYES, R. L. 1994. Coral bleaching and ocean "hot spots". *Ambio*, 23 (3): 176-180.
- HU, C., CHEN, Z., CLAYTON, T.D., SWARZENSKI, P., BROCK J.C. & MULLER-KARGER, F.E. 2004. Assessment of estuarine water-quality indicators using MODIS medium resolution bands: Initial results from Tampa Bay, FL. *Remote Sensing of Environment*. 93 (3): 423 - 441.
- KAPLAN, E. H. 1982. Field guide to coral reef of the Caribbean and Florida, Boston. Houghton Mifflin Company, 289p.
- LEÃO, Z. M. A. N., KIKUCHI, R. K. P., AMARAL, F. D, OLIVEIRA, M. D. M. & COSTA, C. F. 2009. Recifes de Corais-Tesouros agonizantes. *Scientific American Brasil* (Edição Especial), v. Oceano: 74-82.
- LECLERCQ, N., GATTUSO, J-P. & JAUBERT, J. 2000. CO₂ partial pressure controls de calcification rate of a coral community. *Global Change Biology*. 6: 329 - 334.
- MAYAL, E. M., FEITOSA, F. A. N., FERNANDES, M.B., NEUMANN-LEITAO, S., RAMOS, B. P. R., LIMA, E. & ALMEIDA, A. F. 2001. Coral from the table type of Maracajau-RN-Brazil. Resúmenes: *IX Congreso Latinoamericano sobre Ciencias Del Mar*, San Andres Isla. 16-20.
- MOBERG, F. & FOLKE, C. 1999. Ecological goods and services of coral reef ecosystems. *Ecology Economy*. 29 (2): 215 - 233.
- MOREL, A., ANTOINE, D., BABIN, M. & DANDONNEAU, Y. 1996. Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (EUMELI JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skills. *Deep-Sea Research*. 43 (8): 1273 - 1304.
- MOREL, A. & BERTHON, J.F. 1989. Surface pigments, algal biomass profile, and potential production of the euphotic layer: relationships reinvestigated in view of remote sensing applications. *Limnology and Oceanography*. 34: 1545 - 1562.
- MUHAI, A. A.; GHEDIRA, H.; AL-AHMAD, H.; ALI DAWOOD, A. & AL-MUALLA. M. 2009. Exploring the potential of MODIS visible and thermal channels in monitoring and assessing the impact of desalination plant discharges in the Arabian Gulf. *IEEE, GARSS III*. 357-360.
- MUSCATINE, L. 1990. The role of symbiotic algae in carbon and energy flux in reef corals. In *Ecosystems of the world 25: Coral Reefs*. Elsevier, New York. 75-84.
- RIVERA, G.L. 1994. Effects of water movement and sedimentation on the community structure of scleractinian corals. St. John, Virgin Islands (United States). *Neritica*. 8 (1-2): 7 - 19.
- STANLEY JR., G.D. 2003. Evolution of modern corals and their early history. *Earth-Science Reviews*. 60: 195-225.
- STANLEY JR., G.D. 2006. Photosymbiosis and the evolution of modern coral reefs. *Science*. 312 (5775): 857-858.
- TOMCZAC, M. & Godfrey, J. S. 1994. *Regional Oceanography: An Introduction*. London: Pergamon Press. 422p.