

Análise comparativa da concentração de clorofila-*a* estimada pelo sensor MODIS-Aqua e medidas *in situ* no litoral norte de São Paulo: Estação Antares-Ubatuba

Larissa Patricio Valerio¹
Milton Kampel¹
Salvador Airton Gaeta²

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{larissa, [milton](mailto:milton@dsr.inpe.br)}@dsr.inpe.br

²Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo – IOUSP
Praça do Oceanográfico, 191 - 05508-120 - Cidade Universitária, São Paulo (SP) - Brasil
{[sagaeta](mailto:sagaeta@usp.br)}@usp.br

Abstract. Ocean-color products from remote sensing have become fundamental measurements to understand and model climate, biogeochemical and physical changes on oceans surface in a long-term perspective. However the accuracy of the remote sensing measurements depend on reliably, truthful and accurate *in situ* measures to calibrate and validate ocean color algorithms. Regarding coastal waters, this accuracy can be compromised, since there are external sources of variability of the main optical active constituents of the water. The Antares network was created with the objective of monitor and detect long-term changes on coastal waters around Latin America, with the main approach of developing time series of *in situ* oceanographic measurements to integrate with remote sensing ones. Thus, bio-optical algorithms for ocean-colour estimates can be improved regionally. This paper describes the comparison exercise for the chlorophyll-*a* concentration collected monthly from 2006 to 2012 at the Antares Station in Ubatuba, Brazil and it's comparison with MODIS-Aqua daily products. When *in situ* and satellite data were taken exactly on the same day, the dispersion was low (R^2 0,02) because of the limited number of samples available. Otherwise when satellite data was taken on an interval of more or less one day from the *in situ* sampling, there was higher dispersion (R^2 0,40) because of the larger number of samples and on both cases no average significant differences were observed. Thus we can conclude that MODIS-Aqua default algorithm for chlorophyll-*a* estimation is performing quite accurate at the Antares-Ubatuba Station, north shore of São Paulo, Brazil. However, a more robust database is requested for better quantifying this accuracy.

Palavras-chave: ocean color remote sensing, chlorophyll-*a* concentration, bio-optical algorithms, sensoriamento remoto da cor do oceano, concentração de clorofila-*a*, algoritmos bio-ópticos.

1. Introdução

Fornecer medidas de cor do oceano a longo prazo tornou-se fundamental para monitorar e prever mudanças climáticas, biogeoquímicas e físicas, entre outras que ocorrem na superfície dos oceanos. Entretanto, a acurácia e a representatividade dos modelos utilizados em previsões e avaliações depende da acurácia das medidas orbitais. A integração entre os dados adquiridos em órbita e as medidas feitas em superfície (*in situ*) é imprescindível para a avaliação das grandezas do sensoriamento remoto e a calibração dos modelos e algoritmos (IOCCG, 2013).

Os algoritmos desenvolvidos para os sensores de cor do oceano são calibrados com bases extensas de dados *in situ* em águas predominantemente oceânicas, denominadas como águas Caso 1 (Morel e Prieur, 1977). Nesse caso, a variabilidade bio-óptica é função da biomassa fitoplanctônica e seus produtos de degradação (matéria orgânica e detritos) que covariam com esta (IOCCG, 2000). Em regiões onde existem fontes externas de matéria orgânica e detritos (regiões costeiras com aporte terrígeno), conferindo variabilidade bio-óptica específica, a acurácia dos produtos de sensoriamento remoto precisa ser avaliada.

Nesse contexto, a rede de observações latino-americana Antares é focada na detecção de mudanças a longo prazo nas águas costeiras da América Latina (Dogliotti et al., 2005). O

projeto criado em 2003, tem apoio do *Partnership for Observation of the Global Oceans* (POGO), o *International Ocean Colour Coordinating Group* (IOCCG) e o *Inter American Institute for Global Change Research* (IAI). A abordagem inicial deste projeto é desenvolver séries temporais de dados oceanográficos *in situ* e integrar com produtos relevantes de sensoriamento remoto. Dessa maneira, os algoritmos bio-ópticos para cor do oceano podem ser melhorados localmente. A colaboração brasileira neste projeto é feita de maneira conjunta entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP). Na Estação Antares-Ubatuba Estação Antares-Ubatuba, o INPE é responsável por gerar medidas radiométricas com equipamentos que operam acima da água e perfiladores da radiância na coluna d'água e recentemente, medidas de pigmentos para serem lidos no *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) com parceria da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Simultaneamente, o IO-USP realiza medidas dos principais constituintes bio-ópticos, como a Concentração de Clorofila-*a* (*Cla*), material particulado, dissolvido, nutrientes, entre outras medidas dentro do contexto do projeto. A *Cla* é o pigmento indexador da biomassa fitoplanctônica e um dos principais produtos de cor do oceano. A comparação da *Cla in situ* com a *Cla* produto de satélite é o primeiro passo para avaliar o desempenho de um algoritmo global padrão para cor do oceano, em determinada região.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade dos dados de um sensor remoto específico, em representar a Estação Antares-Ubatuba no que se refere à *Cla* através de um exercício simples de comparação entre os dados *in situ* e os remotamente obtidos. Mais especificamente, objetiva-se testar a hipótese de que os dados de satélite teriam diferença significativa dos dados *in situ*, sendo esta a hipótese alternativa (H_1). Do contrário, aceita-se a hipótese (H_0) de que os dados não tenham diferença significativa considerando diferentes aproximações.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A Estação Antares-Ubatuba (Figura 1) está inserida no litoral norte de São Paulo, na margem interna da Plataforma Continental Sudeste (PCSE) do Brasil, próxima à isóbata de 40 m, à 12 milhas náuticas da cidade de Ubatuba (44,9752° W; 23,6131° S). A região é dominada pelo sistema Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que inibe a entrada de sistemas frontais no inverno (ventos de sudeste e sul) e em contrapartida favorece o transporte de umidade ao longo da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) no verão (ventos de nordeste) (Bastos et al., 2000).

A região norte do litoral de São Paulo, possui clima tropical sem estação seca definida, com diminuição das chuvas durante o inverno e verões muito úmidos (Santos et al, 2012). O regime de precipitação dos municípios do litoral norte de São Paulo, apresentam totais anuais acima de 1500 mm, especialmente Ubatuba que recebe pelo menos 2.300 mm por ano (Barbosa, 2007). Apesar do aporte fluvial expressivo no município de Ubatuba, de acordo com Rodrigues et al. (2002), é observado a existência de células de circulação internas nas enseadas, dificultando a exportação de sedimentos terrígenos à plataforma continental, ocorrendo essencialmente a saída de material em suspensão. Na plataforma continental predomina a interação em superfície da Água Costeira (AC) com a Água Tropical (AT) transportada pela Corrente do Brasil (CB) (Miranda e Castro, 1981). A CB também transporta em profundidade (>200m) a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) que ocasionalmente penetra na plataforma interna introduzindo nutrientes e podendo atingir águas sub-superficiais (Castro et al., 1987; Lorenzetti & Gaeta, 1996).

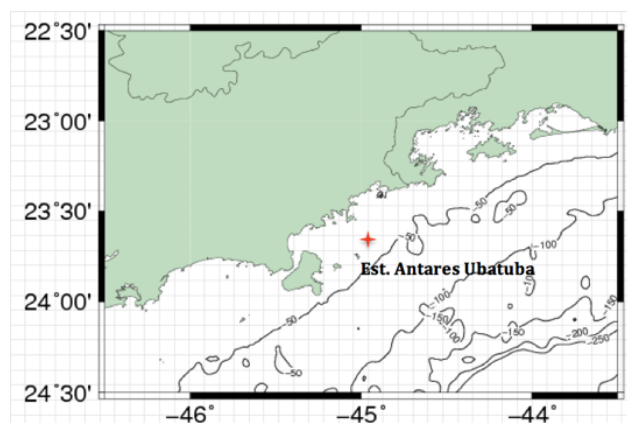


Figura 1: Localização da Estação Antares-Ubatuba ($44,9752^{\circ}$ W; $23,6131^{\circ}$ S), e as isóbatas da base de dados Etopo-2, no litoral norte de São Paulo e divisa com o litoral sul do Rio de Janeiro.

Segundo Castro et al. (1996), a variabilidade da interação entre as massas de água na plataforma interna é forçada principalmente pelos ventos, pela ação da CB e pelas marés. Durante o inverno ainda, pode ocorrer a influência das águas vindas de latitudes mais altas, com características oceanográficas distintas (Brandini et al., 1990). Entretanto a plataforma interna apresenta durante todo o ano uma tendência à homogeneidade em suas propriedades físicas por processos advectivos e de mistura (Castro et al., 2006).

Estudos preliminares, revelaram que a região mais interna da plataforma sofre variações na transparência da água devido ao aporte continental expressivo no verão, porém essas variações não afetam porções externas da plataforma (30 m) apresentando também valores de nutrientes relativamente baixos (Teixeira, 1973). Desta maneira, a *Cla* reportada na literatura (Tabela 1) é geralmente característica de águas oceânicas e sua variabilidade é predominantemente controlada pela quantidade de nutrientes disponíveis.

Tabela (1): Concentrações de Clorofila-*a* (*Cla*) para a região da plataforma continental, inclusive dados da Estação Antares-Ubatuba (*) e para determinadas massas de água (AC e AT).

Referência	Localidade	Intervalo de <i>Cla</i> (mg/m ³)
Teixeira (1973)	23°30'S 45°06'W	1,16-4,21
Teixeira (1979)	23°30'S 45°06'W	0,95-2,80
Sassi e Kutner (1982)	23°30'S 45°07'W	0,02-1,86
Aidar et al. (1993)	PCSE (Ubatuba)	AC: 0,31-1,07/ AT: 0,06-0,37
Kampel (2003)	PCSE (DEPROAS)	0,06-11,19
Kampel et al. (2007)	23,61°S 44,97°W*	0,3-2,0
Carvalho (2009)	PCSE (Santos)	0,90-3,39

Observa-se que a região da PCSE próximo a Estação Antares-Ubatuba possui valores relativamente baixos de *Cla*, caracterizando as águas desta região como oligotróficas a mesotróficas (Aidar et al., 1993).

2.2 Coleta de dados *in situ*

De 2006 a 2012, amostras de água do mar foram coletadas mensalmente com um sistema de garrafas *Niskin* na primeira profundidade óptica (30% da zona eufótica) sendo o limite do sensoriamento remoto no espectro do visível (Platt & Sathyendranath, 1988). A determinação da *Cla* (em mg/m³) segue o método descrito em Welschmeyer (1994). Filtra-se aproximadamente 0,296 ml de água do mar em membranas GF/F (*glass fiber filter*) com poro

de 0,7 μm onde os pigmentos são extraídos em acetona (60%) e dimetil-sulfóxido (40%) e posteriormente feita a leitura no espectrofluorímetro.

2.3 Produtos MODIS-Aqua

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectrometer* a bordo da plataforma Aqua (MODIS-Aqua) foi escolhido para esta comparação pois disponibiliza dados contemplando todo o período das campanhas do projeto Antares, até o presente. Sendo assim, foram selecionadas imagens de acordo com o potencial de visibilidade da cena e coincidência com a data da campanha de campo (com intervalo máximo de ± 1 dia de espaçamento temporal a fim de ampliar a malha amostral, reduzida pela cobertura de nuvens) e ausência parcial de distorção na imagem.

Os dados foram obtidos a nível L1A (radiâncias não calibradas com 1km de resolução) via *file transfer protocol* (ftp), diretamente da plataforma *Ocean Color* da *National Aeronautics and Space Administration* (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) e processados com o software *SeaWiFS Data Analysis System* (*Seadas*). No nível intermediário de processamento L1A para L1B, o *Seadas* faz a calibração e geolocalização das radiâncias em projeção cilíndrica e ainda, adquire via internet os arquivos de georreferenciamento contendo as coordenadas geodésicas de cada pixel, dados de elevação do terreno e os ângulos solar zenital e azimutal do satélite. O esquema de correção atmosférica padrão aplicado aos dados foi o modelo aplicado à correção de dados SeaWiFS, que utiliza as bandas do infravermelho próximo para calcular a reflectância dos aerossóis em cada pixel da imagem (Gordon & Wang, 1994).

Já no nível L2, o *Seadas* processa a *Cla* à nível de produto com o algoritmo global padrão OC3M (O'Reilly, 2000) que é uma extensão dos modelos OC2v2 e OC4v4 desenvolvidos para o SeaWiFS e adaptado para as bandas espectrais do MODIS-Aqua. O algoritmo é estatisticamente derivado para *Cla* de 0,08 à 90 mg/m^3 , entretanto a maior parte das medidas se concentra entre 0,08 e 3 mg/m^3 . O OC3M é um modelo empírico que utiliza a razão entre as reflectâncias de sensoriamento remoto (R_{rs}) das bandas azul e verde do visível para estimar por meio de um ajuste polinomial de 4ª ordem, a *Cla* da seguinte forma:

$$\log [Cla] = a_0 + a_1X + a_2X^2 + a_3X^3 + a_4X^4$$

$$X = \log \left[\frac{\max (R_{rs}(443), R_{rs}(489))}{R_{rs}(555)} \right]$$

onde $a_0 = 0,283$, $a_1 = -2,753$, $a_2 = 1,457$, $a_3 = 0,659$ e $a_4 = -1,403$ são os parâmetros de ajuste e o “max” especifica o maior dos dois valores de R_{rs} entre as bandas especificadas.

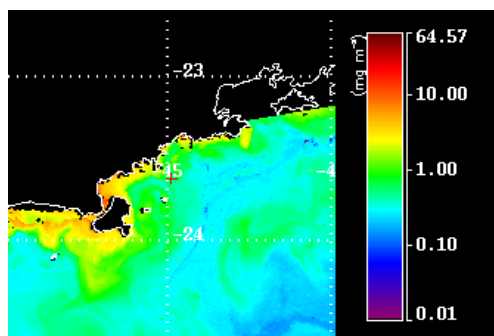


Figura 2: Recorte da área de estudo centrado nas coordenadas da Estação Antares-Ubatuba. A variação da *Cla* (em mg/m^3) de superfície na região foi obtida pelo sensor MODIS-Aqua (18/07/2006).

Finalmente, com a imagem a nível de produto, um recorte de cada imagem L2 foi realizado resultando em uma cena de 222 x 222 pixels (1 km cada) onde a *Cla* foi extraída de uma grade de 3 x 3 pixels centrada na coordenada da Estação Antares-Ubatuba (**Figura 2**). Os dados da grade foram ponderados por média aritmética simples e se alguns pixels forem contaminados por nuvens, a média espacial utiliza somente os pixels remanescentes para o cálculo (Bailey & Werdell, 2006).

2.4 Estatísticas de análise

Ao comparar os dados *in situ* com os dados estimados por sensoriamento remoto para o sensor MODIS-Aqua, utilizou-se de ferramentas estatísticas de modo a conferir o quão próximo os valores de *Cla in situ* estão dos valores de *Cla* estimados pelo modelo empírico de razão de bandas OC3M. Um modelo linear foi aplicado para verificar a consistência entre as amostras dado a análise dos parâmetros estatísticos coeficiente de determinação (R^2), erro médio quadrático (*root mean squared error* ou RMSE) e viés estatístico (somatório das diferenças). Foi também realizado o teste T de *Student* para verificar a hipótese alternativa (H_1) de que as amostras de dados MODIS-Aqua tivessem diferença significativa em relação as amostras tomadas *in situ* da Estação Antares-Ubatuba.

3. Resultados

A *Cla* média de todas as amostras da Estação Antares-Ubatuba foi de 0,74 ($\pm 0,80$) mg/m^3 , corroborando os valores encontrados na literatura.

Uma quantidade restrita de imagens foram selecionadas para a comparação com os dados *in situ* da Estação Antares-Ubatuba. Entre as *Cla in situ* e as *Cla* MODIS que puderam ser amostradas exatamente na mesma data, somente 6 comparações foram possíveis por conta da intensa cobertura de nuvens que afeta a região. Nesse caso, com 6 amostras, o R^2 foi baixo e o RMSE foi alto, com viés de 0,46 mg/m^3 (Figura 3a, Tabela 2). Esse resultado indica que a estimativa por sensoriamento remoto para uma pequena quantidade de amostras tem alto desvio com a verdade de campo. Entretanto, quando aplicado o teste T de *Student* (Tabela 3), o $H=0$ indica que a hipótese nula (H_0 ou seja “médias são iguais”) não pode ser rejeitada à um nível de 5% de significância. Sendo assim, para esse conjunto de amostras não houve diferença significativa entre os dados de *Cla in situ* e *Cla* MODIS.

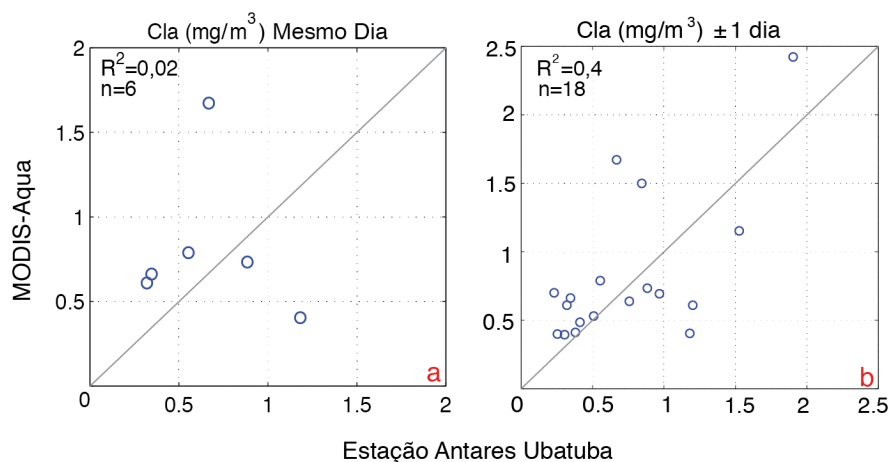


Figura 3: Modelo linear da comparação entre a *Cla* da Estação Antares-Ubatuba e do produto MODIS-Aqua (a) obtido no mesmo dia da data de coleta *in situ* e (b) obtida em um intervalo de ± 1 dia da data de coleta *in situ*.

Ao se levar em conta o intervalo de ± 1 dia entre a data da amostragem e da passagem do satélite, ao todo 18 comparações foram realizadas. O R^2 foi de 0,40 enquanto que o RMSE foi de 0,43 mg/m^3 . O viés encontrado entre os dados de *Cla in situ* e *Cla* MODIS foi de aproximadamente 0,34 mg/m^3 , indicando uma melhor aproximação (Figura 3b e Tabela 3). Já os resultados do teste T de *Student* (Tabela 3) indicam a rejeição da hipótese alternativa. Conclui-se que mesmo com um intervalo de um dia antes ou depois da coleta *in situ*, em média não houve diferença significativa entre as amostras.

Tabela 2: Resultados estatísticos do Modelo Linear aplicado para comparar as amostras de *Cla in situ* e a *Cla* do sensor MODIS. R^2 é o coeficiente de determinação, RMSE é o erro médio quadrático (raiz) e o viés estatístico é a diferença média entre o parâmetro medido e o estimado.

Modelo Linear	R^2	RMSE	Viés (mg/m^3)
mesmo dia	0,02	0,49	0,46
± 1 dia	0,40	0,43	0,34

Tabela 3: Estatísticas descritivas do teste de hipóteses T de Student. H indica se a hipótese aceita foi nula ou a alternativa, p é o p-valor, IC é o intervalo de confiança, T é o valor do teste, GL indica os graus de liberdade e Dp o desvio padrão.

Teste-T de Student	H	p	IC	T	GL	Dp
mesmo dia	0	0,51	-0,349 a 0,655	0,678	10	0,39
± 1 dia	0	0,61	-0,256 a 0,43	0,514	34	0,50

4. Conclusão

Embora os testes estatísticos demonstrem que os dados *in situ* e de satélite não tenham diferença significativa, é necessário avaliar uma quantidade maior de dados para quantificar a acurácia entre as medidas. Futuramente é importante realizar a comparação com as radiâncias obtidas em campo e por satélite para qualificar e entender a variabilidade inserida devido às condições ambientais de ambos os métodos de aquisição. Sugere-se ainda a comparação destes dados *in situ* com estimativas de outros sensores remotos disponíveis no período.

Agradecimentos

A equipe do laboratório de Produção Primária do IO-USP, especialmente a Msc. Mayza Pompeu. A equipe da Base do IO em Ubatuba, a tripulação do Veliger e todos que participaram das coletas e análises de laboratório. A agência CAPES pela bolsa durante o mestrado e aos colegas da equipe de trabalho no INPE.

Referências

Aidar, E. et al. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP. Instituto Oceanográfico, São Paulo, v. 10, p. 9-43, 1993.

Bailey, Sean W., and P. Jeremy Werdell. "A multi-sensor approach for the on-orbit validation of ocean color satellite data products." *Remote Sensing of Environment* 102.1 (2006): 12-23.

Barbosa, J. P. M. Caracterização do regime pluviométrico do litoral do estado de São Paulo segundo repartições propostas por Monteiro (1973). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. Anais... São Paulo: ABRH, 2007.

Bastos, C. C.; Ferreira, N. J. Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro. Anais... 2000. 1 Cd-rom. p.612-619.

Brandini, F. P. . Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off Southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/March 1984). Hydrobiologia, v. 196, p. 111-148, 1990.

Castro, B. M. Correntes e massas de água da plataforma continental norte de São Paulo. Tese (Livre docência em Oceanografia) - Instituto Oceanográfico; Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

Castro, B. M. et al. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, C. L. D. B.; Madureira, L. S. P. (orgs.). O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil. São Paulo: EDUSP, 2006. p.11-120.

Castro, B. M.; Miranda, L. B.; Myao, S. Y. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. Boletim do Instituto Oceanográfico, São Paulo, v.35, n.2, p.135-151, 1987

Carvalho, M. Estimativa da concentração de clorofila-a através de dados de cor do oceano e caracterização oceanográfica da plataforma continental adjacente à Baixada Santista. Tese (Doutorado em Oceanografia biológica) - Instituto Oceanográfico; Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

Dogliotti, Ana I., et al. "The ANTARES observation network." Optics & Photonics 2005. International Society for Optics and Photonics, 2005.

IOCCG (2000), Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal and Other Optically-Complex Waters. 3. ed. Dartmouth, Canada: Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, 140 p.

IOCCG (2013), In-Flight Calibration of Satellite Ocean-Colour Sensors. Frouin, R. (ed.), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, no 1, IOCCG, Dartmouth, Canada.

Gordon, H. R.; Wang, M. Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: a preliminary algorithm. Applied Optics, v. 33, n. 3, p. 443-452, 1994.

Kampel, M. Estimativa da produção primária e biomassa fitoplanctônica através de sensoriamento remoto da cor do oceano e dados in situ na costa sudeste brasileira. Tese (Doutorado em Oceanografia biológica) - Instituto Oceanográfico; Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

Kampel, M. et al. Bio-optical variability in coastal waters of southeast Brazil. *Proceedings of SPIE*, v. 6680, 2007.

Lorenzetti, J. A.; Gaeta, S. A. The Cape Frio upwelling effect over the South Brazil bight northern sector shelf waters: a study using AVHRR images. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, v.31, n. B7, p.448-453, 1996.

Miranda, L. B e Castro, B. M. Geostrophic flow conditions at 19oS, *Cienc. Interam.*, 22(1-2), 44-48, 1981.

Morel, A.; Prieur, L. Analysis of Variations in Ocean Colour. *Limnology and Oceanography*, v. 22, n. 4, p.709–722, 1977.

O'Reilly, J. E., et al. Ocean color chlorophyll-a algorithms for SeaWiFS, OC2 and OC4. In: Hooker, S. B.; Firestone, E. R., (eds.). *SeaWiFS postlaunch technical reports series*. Greenbelt: NASA, 2000, v. 11, p-9-23, 2000.

Platt, T.; Sathyendranath, S. Oceanic primary production: estimation by remote sensing at local and regional scales. *Science*, v. 241, p. 1613-1620, 1988.

Rodrigues, M.; Mahiques, M. M. de, Tesseler, M. G. Sedimentação atual nas enseadas de Ubatumirim e Picinguaba, região norte de Ubatuba, Estado de São Paulo, Brasil. *Rev. Bras. Oceanogr.* [online]. 2002, vol.50, n.unico, pp. 27-45. ISSN 1413-7739.

Santos, D. D.; Galvani, E. Caracterização sazonal das precipitações no município de Caraguatatuba-SP, entre os anos de 1943 a 2004. Eventos extremos e impactos hidrometeorológicos. *Revista Geonorte*, v.1, n. 5, p. 1196 – 1203, 2012.

Sassi, R.; Kutner, M. B. Variação sazonal do fitoplâncton da região do Saco da Ribeira (Lat.23030' S – Long. 45007' W), Ubatuba, Brasil. *Boletim do Instituto Oceanográfico, São Paulo*, v. 31, p. 29-42, 1982.

Teixeira, C. Preliminary studies of primary production in the Ubatuba region. (lat. 23o30' S – long. 45 o06' W), Brazil. *Boletim do Instituto Oceanográfico, São Paulo*. v. 22, p. 49-58, 1973.

Teixeira, C. Produção primária e algumas considerações ecológicas da região de Ubatuba (Lat.23030' S – Long. 45006' W), Brasil. *Boletim do Instituto Oceanográfico, São Paulo*, v. 28, n. 2, p. 23-28, 1979.

Werdell P. J., et al. Generalized ocean color inversion model for retrieving marine inherent optical properties. *Applied Optics*, v. 52, n. 10, 2013.

Welschmeyer, N., Fluorometric analysis of chlorophyll a in the presence of chlorophyll b and pheopigments. *Limnology and Oceanography*, v. 39, n. 8, p. 1985–1992, 1994.