

## Comparação de produtos MODIS-Aqua de cor do oceano com dados *in situ* em águas costeiras de Ubatuba (SP), plataforma continental sudeste brasileira

Natália de Moraes Rudorff<sup>1</sup>  
Milton Kampel<sup>1</sup>  
João Felipe Cardoso dos Santos<sup>2</sup>  
Mayza Pompeu<sup>2</sup>  
Salvador Airton Gaeta<sup>2</sup>  
Aline de Matos Valério<sup>1</sup>  
Gustavo Prouvot Ortiz<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup>Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - IOUSP  
CEP: 05508-120, São Paulo - SP  
joaofelipe.iouusp@gmail.com; {pompeum, sagaeta}@usp.br

<sup>3</sup>Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC/INPE  
Rodovia Presidente Dutra Km. 40 - 12630-000 - Cachoeira Paulista, SP, Brasil  
gustavo.ortiz@cptec.inpe.br

**Abstract.** Ocean colour remote sensing is an important tool for environmental monitoring, especially involving climate change and anthropogenic impacts. Besides the chlorophyll *a* concentration (*Chla*) and the remote sensing reflectance (*Rrs*) of the ocean's surface layers, new products, such as, the diffuse attenuation coefficient (*Kd*(490)), Coloured Dissolved Organic Matter (CDOM) index, and particulate organic matter concentration (POC), have multiplied remote sensing applications for oceanographic researches. However, the estimation of these parameters in coastal zones, with optically complex waters, is still a great challenge. In this context, the present work aimed to evaluate the performance of MODIS-Aqua ocean colour products in coastal waters of Ubatuba (SP/Brazil), with *in situ* validation at the ANTARES-Ubatuba station. The station is characterized by a mixture of Case 1 and 2 waters. The *Rrs* (412, 443, 490, 510 e 555 nm) showed higher errors associated to the 412 and 443 nm bands, which have greatest challenges in the atmospheric correction. Anyway, the *Chla* and *Kd*(490) showed very good association with *in situ* data ( $R^2 = 0.81$  and  $0.82$ , respectively). The CDOM index did not work, because the dependency relationship between CDOM and *Chla*, used in the index model, wasn't encountered in the study area. Other models that derive the constituents separately (e.g. semi-analytical) should be tested for the CDOM retrieval. The POC, on the other hand, showed a reasonable performance ( $R^2 = 0.44$ ), with good potential of application for the Ubatuba coastal waters.

**Palavras-chave:** ocean colour, *in situ* validation, coastal waters, cor do oceano, validação *in situ*, águas costeiras.

### 1. Introdução

O sensoriamento remoto da cor do oceano é uma importante ferramenta de monitoramento ambiental, pois é o único meio de obter dados coletados sinopticamente em extensas áreas geográficas e com alta frequência de amostragem. Os dados de satélite podem compor séries climatológicas regionais e globais, para o estudo de processos de meso e grande escala, e o monitoramento das mudanças climáticas e antropogênicas, nos ecossistemas marinhos e ciclos biogeoquímicos (IOCCG, 2000; McClain, 2009). Um dos primeiros produtos gerados pelas radiâncias da cor do oceano (*Oceano Colour Radiances* – OCR) foi a concentração de clorofila *a* (*Cl<sub>a</sub>*) da camada superficial do mar. Com a evolução tecnológica dos sensores orbitais e o aprimoramento dos modelos bio-ópticos, uma série de produtos biogeofísicos passaram a ser oferecidos como produtos padrões (*standard*) em programas de

distribuição de dados de satélite. Dentre estes estão: a reflectância de sensoriamento remoto ( $Rrs$ ), o coeficiente de atenuação vertical da luz ( $Kd(490)$ ), o coeficiente de absorção da matéria orgânica dissolvida (*Coloured Dissolved Organic Matter* – CDOM), e a concentração do carbono orgânico particulado (*Particulate Organic Carbon* – POC). Estes produtos multiplicaram a aplicação da OCR e promoveram grandes avanços científicos, principalmente no estudo dos ciclos biogeoquímicos (McClain, 2009).

No entanto, apesar dos significativos avanços, há ainda grandes desafios a serem superados. As medidas da OCR são indiretas, e os produtos são estimados por modelos bio-ópticos, o que implica numa série de incertezas e aproximações. O desenvolvimento e aprimoramento dos sensores e modelos, é uma ciência contínua e depende da validação constante com uso de dados *in situ*, coletados em diferentes regiões do globo (IOCCG, 2000). De modo geral os modelos têm apresentado resultados bastante satisfatórios para análises de dados globais, cuja maior parte é composta por águas oceânicas, Caso 1 (Gordon e Morel, 1983). No entanto, quando aplicados a regiões costeiras, com águas opticamente complexas, Caso 2 (Gordon e Morel, 1983), os modelos geralmente falham, ou ficam muito aquém dos limites aceitáveis de erro (IOCCG, 2000). Isso acontece porque a maioria dos modelos são ajustados e formulados para águas Caso 1, onde o constituinte opticamente ativo (COA) dominante, é o fitoplâncton e as substâncias associadas. No caso, o CDOM e detritos são provenientes da própria comunidade fitoplânctônica e covariam com a mesma. As águas Caso 2 são caracterizadas por aquelas nas quais o CDOM e detritos podem provir de diferentes fontes externas, como rios e resuspensão do fundo. Estas águas são encontradas em regiões costeiras e continentais, que sofrem a influência destes aportes. A modelagem bio-óptica nestas regiões é bem mais complexa devido a mistura espectral dos diferentes COA, com variações independentes. A correção atmosférica nas zonas costeiras também é mais difícil devido à presença de aerossóis continentais e sedimentos em suspensão, que interferem no sinal retroespalhado na faixa do infravermelho (IV), usado para a estimativa de aerossol (IOCCG, 2000). A identificação do tipo de água que caracteriza a região também não é uma questão trivial. Mesmo nas águas consideradas Caso 1, as relações entre os COA não são lineares e podem variar bastante nas diferentes regiões e estações do ano (Morel e Gentili, 2009). Cada região possui uma dinâmica específica que deve ser estudada com cuidado, a fim de avaliar quais modelos, globais ou regionais, são mais apropriados (Werdell et al., 2009).

Neste contexto o presente trabalho buscou analisar as características bio-ópticas e o desempenho de produtos de cor do oceano do sensor MODIS-Aqua (versão 2009.1), na estação costeira ANTARES-Ubatuba, plataforma continental sudeste brasileira. O ANTARES é uma rede de monitoramento de dados *in situ* e de satélite, com estações distribuídas ao redor da América Latina, cujo objetivo é a validação e ajuste de modelos bio-ópticos, e o estudo de mudanças climáticas e antropogênicas nas zonas costeiras. A rede é patrocinada pela *Partnership for Observation of the Global Oceans* (POGO) e a estação ANTARES-Ubatuba é realizada numa cooperação entre INPE e IOUSP.

## 2. Metodologia

A estação ANTARES-Ubatuba está localizada no Litoral Norte de São Paulo, na isóbata entre 41 -45 m (Figura 1). O monitoramento iniciou em dezembro de 2004 com um ponto localizado próximo à Ilha Vitória (P1 - 45,0075°W; 23,7407°S). A partir de julho de 2006 o ponto foi transferido para um local mais afastado da Ilha, a fim de evitar sua influência (P2 - 44,9752°W; 23,6131°S). Para o presente estudo foram utilizados dados coletados mensalmente de 12/2004 a 12/2009 dos seguintes parâmetros radiométricos e bio-ópticos: a) reflectância de sensoriamento remoto acima da água ( $Rrs$ ); b) perfis submersos da radiância ( $L$ ) e irradiância ( $E$ ), ascendente e descendente; c) coeficientes de absorção do fitoplâncton, CDOM e detritos, em 443 nm; e d)  $Cl_a$ . A  $Rrs$  acima da água foi medida por um

spectrorradiômetro *SPECTRON SE590* (368-1113 nm) em P1 e um *Fieldspec Hand Held* (350-1100 nm) em P2, seguindo métodos descritos no protocolo da NASA (Mueller et al., 2003). Os perfis radiométricos submersos foram obtidos por um espectrorradiômetro *Satlantic* (350-800 nm). Os parâmetros bio-ópticos foram medidos em amostras coletadas na superfície da água. Os coeficientes de absorção foram determinados por espectrofotômetro com esfera integradora (Mitchell, 1990), e a *Cla* pelo método fluorimétrico (Parsons et al., 1984).

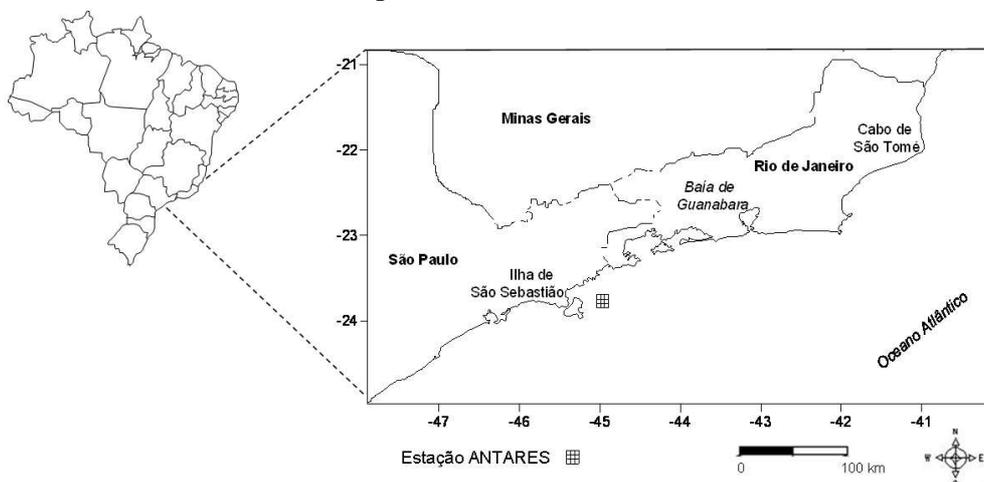


Figura 1. Localização da estação ANTARES-Ubatuba, com destaque da janela de aquisição de dados de satélite (3x3 pixels de 1 km), centrado na posição do ponto 2.

Os dados de satélite foram obtidos em uma janela de 3x3 pixels (de 1 km) centrada na posição da estação (Figura 1), e adquiridos na mesma data da coleta dos dados *in situ*. No caso de presença de nuvens, foi aceito até 1 dia de defasagem. Para a representação do ponto foi usado o valor da mediana. Os produtos MODIS-Aqua (nível 2, versão 2009.1) adquiridos foram: *Rrs* (412, 443, 490, 512 e 555 nm); *Cla* (Ocean Chlorophyll 3- OCM3) (O'Reilly et al., 2000); índice de CDOM (Morel e Gentili, 2009); POC (Stramski et al., 2008) e *Kd*(490) (Mueller, 2000). Para a comparação dos dados *in situ* e de satélite, as *Rrs in situ* foram integrados nos intervalos correspondentes às banda MODIS-Aqua (Kampel et al., 2009). O *Kd*(490) *in situ* foi determinado pela integração do perfil radiométrico na 1ª profundidade óptica, correspondente àquela na qual o sensor orbital é capaz de medir (IOCCG, 2000).

Na análise dos dados, primeiro foi feita uma análise de variância ANOVA entre os dois pontos de coleta, a fim de verificar a possibilidade do agrupamento para representar uma única estação. Depois foi feita uma análise do tipo de água, Caso 1 ou 2, que caracteriza a estação, com o diagrama triangular, contribuição média dos COA e análises de correlação. Para a avaliação do desempenho dos produtos MODIS-Aqua com a comparação dos dados *in situ*, foram feitas análises de regressão, com avaliação do  $R^2$  e erro médio quadrático (EMQ).

### 3. Resultados e Discussão

De modo geral a absorção dos COA foi baixa em todo período analisado, o que indica uma baixa concentração dos constituintes na superfície da água (valores médios:  $a_{cdom}(443)=0,009\pm 0,008$ ;  $a_{detritos}(443)=0,009\pm 0,005$ ;  $a_{fito}(443)=0,015\pm 0,005$ ). De fato, a área de estudo é caracterizada por águas meso-oligotróficas, com baixa biomassa fitoplanctônica e pouca influência continental (Gaeta et al., 1999). No teste ANOVA, somente o  $a_{cdom}(443)$  foi significativamente diferente entre P1 e P2 ( $p=0,03$ ). Mas, houve uma influência exagerada das duas primeiras datas de coleta, na qual o  $a_{cdom}$  foi bem maior que os valores médios (*outliers* da Figura 2). Retirando estas datas da análise, os pontos são considerados iguais para todos os parâmetros ( $p>0,05$ ). Todavia, pode-se notar que de fato o  $a_{cdom}$  tem valores estatísticos levemente superiores em P1 (Figura 2), o que pode ser devido à influência da Ilha.

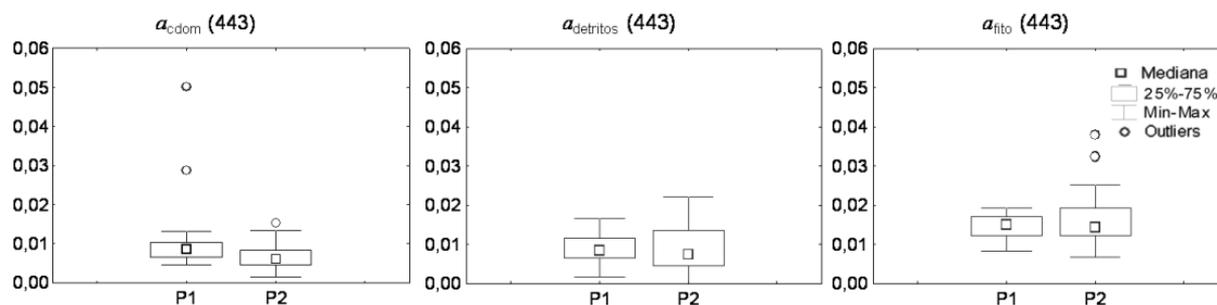


Figura 2: Boxplot dos dados bio-ópticos *in situ* de P1 e P2 na estação ANTARES (n = 42).

Quanto ao tipo de água que caracteriza a estação, na análise do diagrama triangular, as amostras bio-ópticas de superfície ficaram distribuídas na região central e superior do diagrama (Figura 3). Esta distribuição caracteriza amostras com proporções mais ou menos equivalentes entre os três principais constituintes (Cla, CDOM e detritos), com uma tendência de maior contribuição da Cla. Segundo a classificação de Morel e Antoine (2001), a maioria das amostras são classificadas como águas Caso 2, mas ficam próximas ao limite de classificação da Caso 1. Uma parte das amostras foram enquadradas como Caso 1 (Figura 3b). De modo geral os dois pontos tiveram uma distribuição semelhante, mas é possível notar que P1 possui uma tendência de maior contribuição do CDOM, enquanto que o P2, do fitoplâncton. Com base nesta análise, a estação ANTARES-Ubatuba pode ser, portanto, caracterizada como uma mistura de águas Caso 1 e 2.

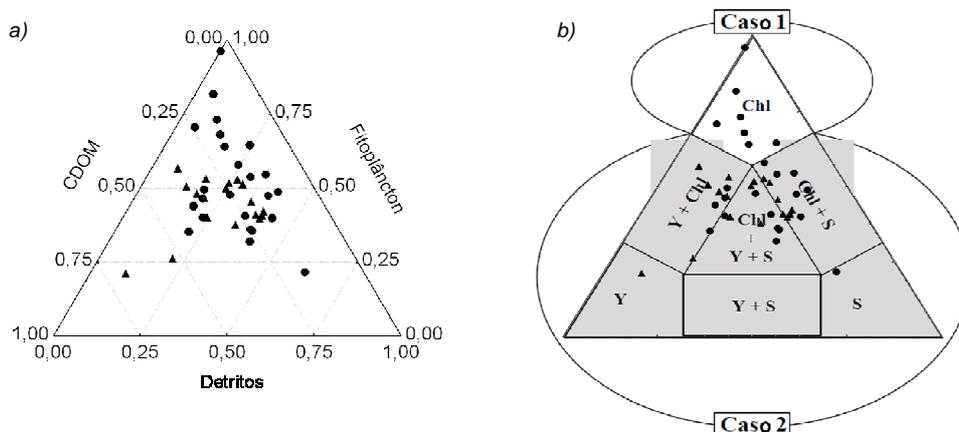


Figura 3: a) Diagrama triangular dos parâmetros bio-ópticos de superfície da estação ANTARES-Ubatuba. Os triângulos são referentes ao P1 e os círculos ao P2; e b) sobreposição do diagrama de Morel e Antoine (2001). S= detritos em suspensão; Y =CDOM e Chl= Cla.

O CDOM teve 26,33% de contribuição na absorção total média, detritos 26,13% e o fitoplâncton 47,47%. Apesar do fitoplâncton ser dominante, a contribuição do CDOM e detritos é significativa. Como estes COA possuem um comportamento espectral bastante semelhante, com aumento exponencial da absorção na faixa do azul e ultravioleta (Morel e Gentili, 2009), a soma da contribuição do CDOM e detritos na absorção média total (443 nm), fica equivalente ao fitoplâncton (52,46 %). Desta forma, o CDM (CDOM+detritos) tem uma contribuição importante no comportamento bio-óptico da estação. Na análise de correlação de Spearman, não foi encontrada uma relação entre  $a_{cdom}$  e  $a_{fito}$ . Isto indica a principal fonte de variação do CDOM não é a comunidade fitoplanctônica, e deve haver influências de fontes alóctones. A área de estudo é conhecida por sofrer pouca influência da drenagem continental, a não ser em eventos de pluviosidade intensa (Gaeta et al., 1999). A profundidade da estação, está próxima ao limite de 30–50 m na qual a resuspensão de sedimentos de fundo não chega a

interferir na camada superficial da água (Morel e Antoine, 2001). Em condições normais, a resuspensão, portanto, não deve influenciar no comportamento bioóptico da superfície, mas em eventos de ventos intensos e persistentes, toda a coluna de água pode ficar misturada (Gaeta et al., 1999). Estas contribuições externas, no entanto, são ocorrentes apenas em eventos extremos e não retratam a condição normal. Maiores estudos são necessários para verificar o efeito das condições oceano-meteorológicas na qualidade da água superficial da área de estudo, a fim de identificar a origem principal do CDOM. O  $a_{detritos}$ , por outro lado, teve uma correlação positiva de 0,61 com o  $a_{fito}$  e 0,72 com a  $Chl a$ . Esta relação pode indicar uma co-dependência entre a comunidade fitoplancônica e zooplancônica. Gaeta et al. (1999) encontraram uma relação forte entre o aumento da  $Chl a$  e feopigmentos, usado como indicador da predação zooplancônica, num estudo temporal realizado na mesma área de estudo. Como a taxa de excreção do zooplâncton é elevada, grande parte do detritos pode ser proveniente do zooplâncton, que por sua vez, tem uma co-dependência com a comunidade fitoplâncton. Esta pode ser, portanto, a principal fonte do detritos na área de estudo. Outras fontes secundárias podem ser a resuspensão do fundo e o aporte continental (Metzler et al., 1997).

Esta primeira análise do comportamento bioóptico da estação é importante para compreender possíveis erros e limites na aplicação dos modelos bio-ópticos para a área de estudo. Para a comparação dos dados *in situ* x satélite foram obtidas de 7 até 25 combinações, de acordo a disponibilidade dos dados de cada parâmetro. Na análise de regressão, os dados de  $Rrs$  não tiveram uma associação muito boa *in situ* x satélite, com  $R^2$  de 0,007 em 412 nm a 0,41 em 555 nm (Figura 4). No entanto, o EMQ foi pequeno (0,002 para todas as bandas), e a diferença média quadrática (DMQ) foi de apenas 4,92-6,29%. Kampel et al. (2009) obtiveram valores de DMQ de 13,2-25,3%, com uma comparação semelhante aplicada à plataforma da Baía de Campos. No presente trabalho o número amostral foi maior, o que pode ter favorecido no melhor resultado, mas a área de estudo é mais complexa, com influência de águas Caso 2. Nos dois trabalhos os maiores erros foram associados às bandas 412 e 443 nm.

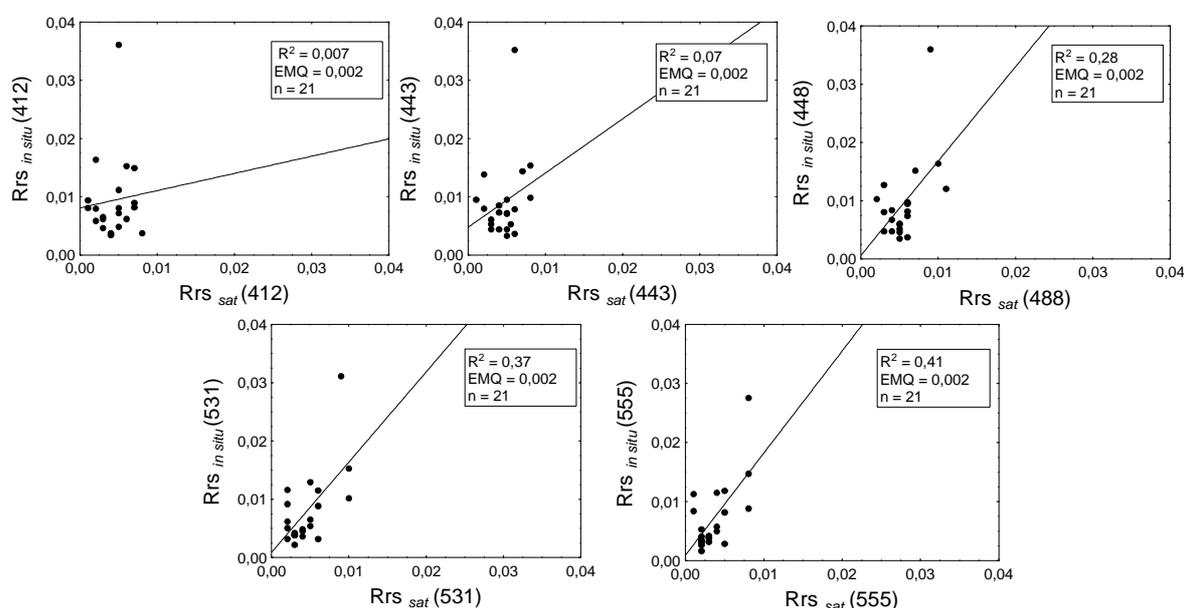


Figura 4: Diagramas de dispersão dos dados de  $Rrs$  *in situ* x satélite (MODIS-Aqua) na estação ANTARES-Ubatuba.

As bandas 412 e 443 nm do MODIS-Aqua são conhecidas por apresentar erros elevados, e desempenho inferior às bandas de comprimento de onda maiores (Kwiatkowska et al., 2008). A versão 2009.1 de reprocessamento dos dados MODIS-Aqua apresenta uma melhoria na calibração radiométrica das bandas e na estimativa da radiância normalizada ( $nLw$ ),

principalmente para águas costeiras (NASA, 2010). Para a área de estudo, o desempenho foi razoável, mas deve-se buscar melhorias. Há diversos fatores que são possíveis fontes de erro nos dados de *Rrs* estimados por satélite, mas um dos principais é a correção atmosférica. 90 % do sinal registrado pelo sensor orbital é proveniente do espalhamento atmosférico. Em zonas costeiras o desafio da correção é maior ainda devido a presença de aerossóis continentais e sedimentos em suspensão, que dificultam a estimativa de aerossol com as bandas do IV (IOCCG, 2000). As bandas de menor comprimento de onda sofrem mais com a influência atmosférica devido ao espalhamento molecular, por isso, normalmente possuem desempenho inferior na correção atmosférica (McClain, 2009). Todavia, estas bandas são importantes para a estimativa do CDOM e da *Cl<sub>a</sub>*, devido a maior absorção destes componentes na faixa do azul (Morel e Gentili, 2009). Outro fator que também deve ser considerado nesta análise, é referente aos limites e erros das medidas radiométricas *in situ*, que são consideradas como “verdades de campo”. Há uma série de fatores que interferem no sinal medido pelo sensor, como as condições atmosféricas, presença de nuvens, ventos na superfície do mar e a geometria de visada (Mueller et al. 2003). Além disso, tem as diferentes escalas espaciais e a defasagem temporal entre as aquisições *in situ* e de satélite, que também são fontes de erro.

Na análise dos parâmetros bio-ópticos, a *Cl<sub>a</sub>* apresentou uma elevada associação *in situ* x satélite ( $R^2 = 0,81$ , EMQ = 0,25) (Figura 5). Os valores *in situ* variaram de 0,21–2,32 mg.m<sup>-3</sup> e de satélite de 0,23–2,87 mg.m<sup>-3</sup>. Werdell et al. (2009) encontraram uma porcentagem do erro absoluto da *Cl<sub>a</sub>* (MODIS-Aqua, OCM3) de 40-100% na baía de Chesapeake (EUA), enquanto que no presente trabalho o erro foi de 1,72-97,96%. O coeficiente de determinação também foi maior que o encontrado por Kampel et al. (2007), que compararam dados de *Cl<sub>a</sub>* *in situ* com dados MODIS-Aqua (OCM3) na mesma estação ANTARES-Ubatuba ( $R^2 = 0,62$ ). A dominância do fitoplâncton no comportamento bio-óptico da estação deve ser a principal causa do bom desempenho do OCM3 (MODIS-Aqua) para as águas costeiras de Ubatuba. Os melhores resultados encontrados em comparação com o trabalho de Kampel et al. (2007), podem ser decorrentes do aumento do número amostral e a nova versão dos produtos MODIS. A versão 2009.1 MODIS-Aqua, apresenta melhorias nas novas estimativas de *Cl<sub>a</sub>*, principalmente para águas costeiras, devido aos novos ajustes (NASA, 2010).

O *K<sub>d</sub>(490)* também apresentou uma associação elevada entre os dados *in situ* e de satélite ( $R^2 = 0,82$ , EMQ = 0,05) (Figura 5). A versão 2009.1 do modelo de Mueller (2000), também foi reajustada com a base de dados NOMAD e apresenta melhores estimativas do *K<sub>d</sub>(490)* para o oceano global (NASA, 2010). O modelo utiliza um polinômio de quarto grau com razões de *Rrs* das bandas 488 e 547 nm (MODIS), numa base log. Segundo Mueller (2000) o modelo possui um desempenho muito bom para águas globais, mas não funciona para águas costeiras turvas com *K<sub>d</sub>(490)* > 0,25. Na estação ANTARES-Ubatuba os valores variaram de 0,06-0,34 m<sup>-1</sup>, e mesmo com poucas amostras (n=7) o coeficiente de determinação foi alto. Na análise de correlação com os dados *in situ* o *K<sub>d</sub>(490)* teve uma relação positiva forte com o *a<sub>fito</sub>* (r = 0,96) e o *a<sub>detritos</sub>* (r = 0,82). Como o modelo de Mueller (2000) usa razões de bandas semelhantes àquelas usadas nos modelos de *Cl<sub>a</sub>* (O’Reilly et al., 2000), a dependência elevada do coeficiente de atenuação com o fitoplâncton, e a covariação do detritos, permitiu o bom desempenho deste modelo para as águas costeiras de Ubatuba.

O índice de CDOM (Morel e Gentili, 2009) é um modelo novo implementado na versão 2009.1 MODIS-Aqua. O modelo estima a variação do coeficiente de absorção do CDOM em relação a um valor médio determinado por uma relação não linear entre a *Cl<sub>a</sub>* e o *a<sub>cdom</sub>*. O modelo concorda bem com as estimativas do GSM01 (Gaver-Siegle-Maritorenna versão 1) para dados globais. No entanto, para as águas costeiras de Ubatuba, os dados estimados pelo modelo não tiveram nenhuma associação com os dados medidos *in situ* (Figura 5). De fato, como discutido anteriormente, nesta área o CDOM não possui uma relação determinante com a *Cl<sub>a</sub>*, por isso o modelo do índice de CDOM não funcionou. É preciso investigar o uso de

outros modelos, preferencialmente semi-analíticos, que derivam os coeficientes de forma independente, para a aplicação mais adequada nesta área.

Os dados de satélites de concentração de POC, estimados pelo modelo de Stramski et al. (2008), por outro lado, apresentaram um desempenho razoável comparado ao  $a_{\text{detritos}}$  *in situ* ( $R^2 = 0,44$ ) (Figura 5). Este modelo utiliza um ajuste polinomial entre a razão  $Rrs(490)/Rrs(555)$  e o POC. Segundo Stramski et al. (2008) o modelo possui bons resultados para uma grande variação de tipos de ambientes, desde oligotróficos, nos giros oceânicos, à eutróficos, em zonas de resurgência costeira ( $R^2 = 0,91$ ,  $n = 52$ ).

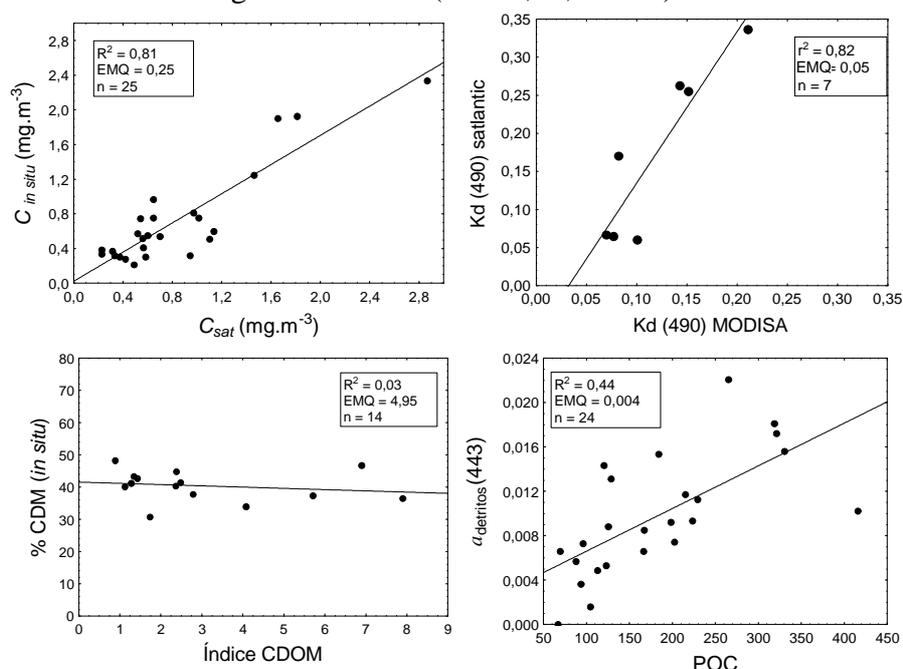


Figura 5: Comparação dos produtos bio-ópticos MODIS-Aqua (nível 2) com os dados *in situ* da estação ANTARES-Ubatuba.

#### 4. Conclusão

O presente trabalho apresenta uma reanálise das características bio-ópticas da estação ANTARES-Ubatuba, apresentadas em Kampel et al. (2007), com o aumento do número amostral e análises de novos produtos bio-ópticos MODIS-Aqua. Os dois pontos de coleta puderam ser considerados como representativos de uma única estação. A estação foi caracterizada por uma mistura de águas Caso 1 e 2, com dominância do fitoplâncton, mas uma contribuição importante do CDOM+detritos. O CDOM não apresentou nenhuma relação de co-dependência com a  $Chl a$ , o que pode indicar a influência de uma fonte externa, que deve ser investigada. Já o detritos apresentou uma relação positiva forte com a  $Chl a$ , o que indica uma proveniência principal da comunidade zooplânctônica. Os dados de  $Rrs$  MODIS-Aqua tiveram um desempenho razoável, com os maiores erros associados às bandas de 412 e 443 nm. A  $Chl a$  e o  $Kd(490)$  tiveram um desempenho muito bom das estimativas por satélite. A maior contribuição do fitoplâncton e a covariância do detritos devem favorecer o bom desempenho destes modelos para a área de estudo. Por outro lado, o índice de CDOM não funcionou, pois a relação utilizada pelo modelo de Morel e Gentili (2009) entre o CDOM e a  $Chl a$  não é o principal fator de variação do CDOM no ambiente. O POC apresentou um desempenho razoavelmente bom, provavelmente devido à co-variação do detritos com o fitoplâncton, e tem bom potencial de aplicação para a área de estudo. A versão 2009.1 dos dados MODIS-Aqua pode ter aprimorado as estimativas de  $Chl a$  para as águas costeiras de Ubatuba, mas os dados de  $Rrs$ , CDOM e POC, precisam de melhorias. São necessários mais estudos do comportamento bio-óptico da estação e das possíveis fontes de erro dos dados *in*

*situ* e de satélite, para se ter a escolha de modelos mais adequados e até mesmo o ajuste regional, importantes para o monitoramento da região de estudo.

## 5. Referências Bibliográficas

- Gaeta, S. A.; Ribeiro, S. M. S.; Metzler, P. M.; Franceos, M. S.; Abe, D. S. Environmental forcing on phytoplankton biomass and primary production of the coastal ecosystem in Ubatuba region, southern Brazil. **Revista brasileira de oceanografia**, 47(1):11-27. 1999.
- Gordon, H. R.; Morel, A. **Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of Satellite Visible Imagery. A Review**, Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies, R. T. Barber, N. K. Mooers, M. J. Bowman and B. Zeitzschel (eds.), Springer-Verlag, New York, 114 p. 1983.
- IOCCG. Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal and Other Optically-Complex Waters. Sathyendranath, S. (ed.), **Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, no. 3**, Dartmouth, Canada, 2000.
- Kampel, M., Gaeta, S. A.; Lorenzetti, J. A.; Pompeu, M.; Rudorff, F. M.; Frouin, R. Bio-Optical Variability in Coastal Waters of Southeast Brazil. **Proceeding of SPIE**, vol. 6680, p.1-8. 2007.
- Kampel, M.; Lorenzetti, J. A.; Bentz, C. M.; Nunes, R. A.; Paranhos, R.; Rudorff, F. M.; Politano, A. T. Simultaneous Measurements of Chlorophyll Concentration by Lidar, Fluorometry, above-Water Radiometry, and Ocean Color MODIS Images in the Southwestern Atlantic, **Sensors**, 9: 528-541, 2009.
- Kwiatkowska, E. J.; Franz, B. A.; Meister, G.; McClain, C. R.; Xiong, X. Cross calibration of ocean-color bands from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer on Terra platform. **Applied Optics**, 47: 6798-6810. 2008.
- McClain, C. R. A Decade of Satellite Ocean Color Observations. **Annual Review Mar. Science**, 1:19-42, 2009.
- Metzler, P. M.; Gilbert, P.M.; Gaeta, S.A.; Lubian, J.M. New and regenerated production in the South Atlantic off Brazil. **Deep-Sea Res.**, v.44, p. 363-384, 1997.
- Mitchell B.G., Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter technique (QFT). **Ocean Optics**, 137-148, 1990.
- Morel, A. e Antoine, D., Pigment index retrieval in case 1 waters, **ENVISAT\_MERIS\_ATBD 2.9**, Laboratoire de Physique et Chimie Marines, France, 2001.
- Morel, A.; Gentili, B. A simple band ratio technique to quantify the colored dissolved and detrital organic material from ocean color remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, 113: 998-1011. 2009.
- Mueller, J. L. SeaWiFS Algorithm for Diffuse Attenuation Coefficient, K(490), using water-leaving radiances at 490 and 555 nm. In: **SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses Part 3**, vol. 11: 24-27. 2000.
- Mueller, J. L.; Fargion, G. S.; McClain, C. R. **Ocean optics protocols for satellite ocean color sensor validation, Revision 4, Volume III**, NASA/ Technical Memo, 78p.2003.
- O'Reilly, J. E., Maritorena, S.; Siegel, D. A.; O'Brien, M. C.; Toole, D.; Mitchell, B. G. et al. Ocean color chlorophyll a algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4: version 4. **SeaWiFS postlaunch calibration and validation analyses**, Part 3 NASA/TM 206892, Vol. 11. (pp. 9-23). 2000.
- Parsons, T.R.; Maita, Y.; Lalli, C.M. **A manual of chemical and biological methods for seawater analysis**. Pergamon Press: Oxford, p. 173, 1984.
- Stramski, D.; Reynolds R. A; Babin, M.; Kaczmarek, S.; Lewis, M. R.; et al., Relationships between the surface concentration of particulate organic carbon and optical properties in the eastern South Pacific and eastern Atlantic Oceans. **Biogeosciences**, 5, 171-201, 2008.
- Werdell, P. J.; Bailey, S. W.; Franz, B. A.; Harding, A. W.; Feldman, G. C.; McClain, C. R. Regional and seasonal variability of chlorophyll-a in Chesapeake Bay as observed by SeaWiFS and MODIS-Aqua. **Remote Sensing of Environment**, 113: 1319-1330, 2009.