# Variabilidade espacial dos constituintes bio-ópticos e comparação de produtos de cor do oceano *in situ* e MODIS-Aqua na plataforma e talude do Espírito Santo (ES)

Natalia de Moraes Rudorff<sup>1</sup> Milton Kampel<sup>1</sup> Larissa PatrícioValério<sup>1</sup> Marcelo Franco de Oliveira<sup>1</sup> Fabio Dall Cortivo<sup>1</sup> Maria Laura Zoffoli<sup>1</sup> Leandro Rodrigues de Freitas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil {nmr, milton, larissa, fabio.cortivo, lzoffoli}@dsr.inpe.br, marcelo.franco@cptec.inpe.br

<sup>2</sup>Petrobras S.A. Centro de Pesquisa e Desenvolvimento Avaliação e Monitoramento Ambiental – CENPES/PDEDS/AMA Caixa Postal 15515 - 20031-912 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil rodriguesf@petrobras.com.br

Abstract. The present work presents a characterization of the distribution of the bio-optical properties and a comparison of *in situ* and satellite data for the offshore and shelf waters of Espírito Santo, Southeast Brazilian coast. The goal was to identify some of the processes governing the distribution of the optically active constituents and potential areas that may constrain the application of Case 1 ocean color products. Different models were compared to indicate a least biased one for the study region. The *in situ* data was obtained from a series of oceanographic cruises coordinated by CENPES-PETROBRAS, during the austral winter of 2013 (AMBES project). Satellite data was obtained from MODIS-Aqua daily products. The OC3M empirical model showed a greater dispersion (0,69  $R^2$ ) than the semi-analytical models GIOP and GSM ( $R^2$  0,69 and 0.72), but with lower percent difference (44%, compared to 45 and 53%, respectively). The QAA had a lower overall performance, but still close to the other models (0,51  $R^2$  and 55% bias). Errors were explained by both uncertainties in satellite and *in situ* data and bio-optical variability of the region. To improve the retrieval of ocean color products a regionally adjusted GIOP model is likely the most adequate approach for the region, especially with influence of the Doce and Vitória river plumes, and bottom resuspension in windy events.

**Palavras-chave:** ocean-color remote sensing, *in situ* and satellite match-ups, southeast Brazilian coast, sensoriamento remoto da cor do oceano, comparações *in situ* e satélite, costa sudeste brasileira.

# 1. Introdução

O monitoramento sinóptico de fenômenos de mesoescala na plataforma e talude, bem como dos processos costeiros na interface continental, é essencial para entender o ambiente marinho e as mudanças decorrentes de processos climáticos e antropogênicos. O sensor *Moderate Resolution Spectroradiometer* (MODIS) a bordo da plataforma Aqua é um sensor de cor do oceano que oferece dados diários desde 2002, com resolução nominal de 1,1 km. Os principais produtos de cor do oceano são a concentração de clorofila-*a* da superfície do mar (CSM) e os coeficientes de absorção do fitoplâncton e da matéria orgânica colorida, dentre outros (IOCCG, 2006). Desde o primeiro mapa global de CSM, o sensoriamento remoto orbital têm se mostrado revolucionador e promissor no conhecimento e monitoramento dos processos oceanográficos. No entanto, a maior parte dos modelos é calibrada para águas Caso 1 (Morel e Prieur, 1977) onde o fitoplâncton deve ser dominante e os produtos de degradação, i.e, matéria orgânica dissolvida colorida (MODC) e particulada (detritos), covariam com o mesmo (IOCCG, 2000). Portanto, a aplicação destes produtos em regiões específicas, principalmente costeiras com presença de fontes externas i.e., plumas de rios e resuspensão de fundo, precisa ser verificada para o uso adequado. Com base nisso, o presente trabalho

apresenta uma análise da distribuição dos constituintes bio-ópticos e a comparação de dados *in situ* e de satélite na região do talude e plataforma continental do Espírito Santo (ES). O propósito é estudar os processos que governam a distribuição dos constituintes e avaliar quais produtos MODIS-Aqua de cor do oceano são adequados para o monitoramento dos processos costeiros e meteo-oceanográficos na região de estudo.

# 2. Metodologia de Trabalho

# 2.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se na plataforma continental e talude do ES, litoral sudeste da costa brasileira, entre 18-21°S e 41-37°O (Figura 1). Ao norte está o Banco de Abrolhos e a leste a Cadeia Vitória Trindade. A topografia da plataforma aliada à mudança na direção da linha de costa promove uma hidrodinâmica local que favorece a formação de sistemas ciclônicos como o Vórtice de Vitória (VV), que possui um papel importante na biologia e hidrografia da região (Schimid et al., 1995; Gaeta et al., 1999).



Figura 1. Estações de coleta das campanhas AMBES na plataforma e talude do Espírito Santo, sobrepostas ao mapa batimétrico do "2009 World Ocean Atlas" (ODV v.4.6) (Schlitzer, 2014).

A plataforma é dominada em superfície pela Água Costeira (AC) e o talude pela Água Tropical (AT) transportada pela Corrente do Brasil (CB) (Miranda e Castro, 1981). A extensa plataforma do Banco de Abrolhos favorece a resuspensão de sedimentos aumentando a produtividade e turbidez nesta área, principalmente em eventos associados à intensificação dos ventos, como na passagem de sistema frontais (frentes frias vindo de sul) (Segal et al., 2008; Zoffoli et al., 2012). A descarga de rios de pequeno e médio porte também influencia no transporte de nutrientes, promovendo uma maior produtividade na plataforma, bem como, no aporte de matéria orgânica dissolvida e particulada e sedimentos em suspensão. O principal rio que deságua na costa do ES é o Rio Doce que possui uma descarga média de 525 m<sup>3</sup>/s nos meses de maio-outubro (outono-inverno) (ANA, 2014).

# 2.2 Coleta de dados in situ

Os cruzeiros da campanha de água do projeto AMBES<sup>11</sup> foram realizados entre 27/07 e 07/09/2013. Foram amostradas 40 estações oceanográficas na plataforma e talude do ES com

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Projeto de Caracterização Regional da Bacia do Espírito Santo e porção norte de Campos, sob coordenação do Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES).

coleta de dados radiométricos e bio-ópticos *in situ* (Figura 1). Os dados radiométricos foram medidos com um espectrorradiômetro *Fieldspec Hand-Held* (ASD, *Analytical Spectral Devices*). As amostras de água para análise da concentração de clorofila-*a* (*Cla*) e absorção do material particulado ( $a_p$ ) foram coletadas na superfície (1 m) com um sistema de garrafas Niskin. As amostras foram imediatamente filtradas no laboratório úmido do navio em filtros GF/F (*Glass fiber filters*) de 0,7 µm de porosidade. Após a filtragem as amostras foram preservadas em nitrogênio líquido (-196°C) até a análise em laboratório. A *Cla* foi analisada com um espectrofluorímetro segundo o método de Welschmeyer (1999) (com 40% de dimetil-sulfeto e 60% de acetona para a extração dos pigmentos).  $a_p$  foi analisada segundo Mitchell et al. (2003) com espectrofotômetro de duplo feixe e esfera integradora. A absorção do detritos ( $a_d$ ) foi determinada após a despigmentação da amostra com hipoclorito de sódio. A absorção do fitoplâncton ( $a_{phy}$ ) foi estimada pela diferença entre  $a_p$  e  $a_d$ . Para cada estação foram coletadas duplicatas e estimada a média para cada parâmetro.

O espectrorradiômetro ASD toma medidas hiperespectrais acima da água e opera na faixa do visível ao infravermelho próximo (350-1075 nm). A reflectância de sensoriamento remoto ( $R_{rs}$ ) é determinada da seguinte forma:

$$R_{\rm rs}(\lambda,\theta,\phi) = \frac{L_{\rm T}(\lambda,\theta,\phi) - \rho L_{\rm c\acute{e}u}(\lambda,\theta_{\rm c\acute{e}u},\phi_{\rm c\acute{e}u})}{L_{\rm pl}(\lambda) \pi/{\rm Fc}(\lambda)}$$
(1)

onde  $L_{\rm T}$  é a radiância total emergente da água medida à 45° zenital ( $\Theta$ ) e 137° azimutal em relação ao plano solar ( $\phi$ );  $L_{\rm céu}$  é a radiância descendente do céu (a 45° do zênite solar) e  $\rho$  é fator de reflectância da superfície do mar ajustado para a intensidade de vento, ângulo de visada do sensor e ângulo zenital solar (Mobley, 1999).  $L_{\rm pl}$  é a radiância da placa de referência Spectralon (100% de reflectância) e *Fc* é o fator de calibração da placa de campo.

Para corrigir os resíduos de contaminação da reflexão do céu na superfície da água foi aplicada uma correção com a subtração da  $R_{rs}$  em 800 nm (Mueller et al. 2002). Foram tomadas 3 medidas para cada estação e a  $R_{rs}$  final foi obtida pela média depois da eliminação dos espectros ruidosos (com valores muito acima do esperado para o tipo de água amostrado). A  $R_{rs}$  *in situ* foi usada para estimar a CSM com o modelo OC3Mv6 (O'Reilly, et al., 2000) a fim de comparar o desempenho do modelo derivado com dados *in situ* e MODIS-Aqua.

# 2.3. Dados MODIS-Aqua

Os produtos de cor do oceano do sensor MODIS-Aqua foram obtidos a partir da base Color da National *Aeronautics* and Space **Administration** (NASA) Ocean (http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/). Foram baixados dados diários correspondentes ao período de coleta do AMBES2013. Os dados L1A foram processados para L2 em ambiente SeaDAS 7.1. Os pontos correspondentes às estações de coleta foram extraídos de uma janela de 3x3 pixels (Bailey e Werdell, 2006) centrada na coordenada da estação, com ±1 dia de espaçamento temporal a fim de ampliar a malha amostral, reduzida pela cobertura de nuvens. Os produtos usados para a comparação com os dados in situ foram a CSM derivada do modelo empírico OC3M (O'Reilly, 2000) e a absorção do fitoplâncton derivada dos modelos semi-analíticos Garver-Siegel-Maritorena (GSM) (Maritorena et al., 2002), Quasi-Analytical Algorithm (QAA) (Lee et al., 2002) e Generalized Inherent Optical Properties (GIOP) (Werdell et al., 2013). Imagens de CSM (OC3M, MODIS-Aqua) e temperatura da superfície do mar (TSM, do sensor AVHRR, NOAA-16, 18 e 19) também foram adquiridas no banco de dados Ambientais **INPE/CPTEC** da Divisão de Satélites do (http://satelite.cptec.inpe.br/oceano/) para auxiliar na caracterização ambiental e da distribuição dos constituintes ópticos.

#### 3. Resultados e Discussão

As imagens de CSM MODIS-Aqua adquiridas durante as campanhas do AMBES mostraram uma distribuição da *Cla* determinada predominantemente pela presença do aporte de rios e resuspensão do fundo nas áreas mais rasas da plataforma, e secundariamente pelo gradiente de TSM (Figura 2). As águas mesotróficas da Água Costeira da plataforma (~0,5 mg/m<sup>3</sup>) contrastam com as águas oligotróficas do talude (<0,1mg/m<sup>3</sup>), da Água Tropical transportada pela CB. A área com maior *Cla* foi (> 2mg/m<sup>3</sup>) encontrada próximo à Foz do Rio Doce indicando a influência desse sistema na produtividade da plataforma com o aporte de nutrientes, bem como a provável mistura de outros constituintes opticamente ativos (COAs) como detritos e MOCD, causando superestimações no OC3M (IOCCG, 2000). A produtividade dos ecossistemas de corais no Banco de Abrolhos (ao norte) e resuspensão de fundo nesta porção estendida da plataforma também favorece uma maior CSM no setor norte da plataforma. Ao sul, as águas mais frias provenientes das ressurgências locais com formações ciclônicas na quebra de plataforma também parecem aumentar a CSM neste setor.



Figura 2. Mapa de CSM (OC3M) MODIS-Aqua (à direita) e de TSM AVHRR (satélite NOAA-16,18,19) (esquerda) do dia 02/09/2013, durante o AMBES.

A distribuição da *Cla in situ* também apresentou um gradiente fortemente determinado pela presença dos rios na plataforma (Figura 3). No entanto, ao contrário do mapa de CSM (Figura 2), a maior *Cla* (>1,5 mg/m<sup>3</sup>) foi encontrada próximo e ao sul do estuário de Vitória e não do Rio Doce. Isso sugere que a mistura óptica da pluma do Rio Doce causa uma superestimação do OC3M alterando o padrão real da distribuição da CSM na plataforma do ES. No caso, os rios Vitória e Itapemirim (ao sul) parecem ter uma influência maior na produtividade da plataforma, provavelmente em decorrência do estado de eutrofização principalmente do Rio Vitória que está cercado do maior adensamento populacional do ES (ANA, 2014). Já outras feições foram mais compatíveis entre a CSM a *Cla* (observadas em datas próximas) como o gradiente batimétrico bem demarcado, com a maior *Cla* concentrada na plataforma até a isóbata de ~200m e um ponto de maior *Cla* (0,5 mg/m<sup>3</sup>) nas águas mais profundas do talude provavelmente associado à presença do Vórtice de Vitória com ressurgênica da Água Central do Atlântico Sul (ACAS).



Figura 3. Mapa de distribuição da *Cla in situ* (à direita) e da absorção do fitoplâncton em 443nm ( $a_{phy}$ 443) durante o AMBES (26/07-07/09) (interpolado por *krigeagem*).

A absorção do fitoplâncton ( $a_{phy}$ 443) apresentou uma distribuição semelhante à da Cla, porém foi possível notar algumas diferenças que podem estar relacionadas às diferentes comunidades fitoplanctônicas presentes na plataforma e talude do ES (durante as campanhas) (Figura 3). A proporção  $a_{phy}$ 443/Cla (unidades m<sup>2</sup>/mgCla) dá uma ideia da dominância do tamanho do grupo fitoplanctônico dominante da área. Onde esta proporção foi relativamente maior, como ao norte da foz do Rio Doce  $(0,075 \text{ m}^2/\text{mgCl}a)$  é provável que esta área estivesse dominada por grupos menores de cianobactérias e clorofíceas, enquanto que para as áreas com valores proporcionalmente menores (ao sul do estuário de Vitória, com 0,035 m<sup>2</sup>/mgCla) as comunidades deveriam ser dominadas por grupos maiores de diatomáceas e dinoflagelados (Ciotti et al., 2002). Essa diferença nas proporções de  $a_{phv}443/Cla$  é decorrente dos efeitos de sombreamento dos pigmentos que reduz a capacidade de absorção em células maiores com maior adensamento intracelular. Esta relação sugere que o sistema estuarino de Vitória apresenta uma influência importante não somente na produtividade, mas também na distribuição dos grupos fitoplanctônicos na plataforma do ES. A distribuição do ad443 foi próxima da Cla ( $R^2$ , 0,56), mas também houve algumas diferenças nas proporções de  $a_d$ 443, principalmente relacionada ao aporte de rios e resuspensão de fundo. A razão  $a_d/a_p$  da plataforma foi o dobro em relação ao talude (0.37 e 0.16, respectivamente). O maior valor desta razão foi na foz do Rio Vitória com 0,80 reforçando a influência desse sistema no aporte orgânico para a plataforma. As áreas próximas ao Rio Doce e Rio Vitória e mais rasas da plataforma apresentam, portanto, a maior complexidade óptica da plataforma do ES.

Na comparação dos produtos de cor do oceano MODIS-Aqua o modelo OC3M apresentou um desempenho razoável para a estimativa de *Cla* em toda área amostrada (plataforma e talude) com  $R^2$  de 0,69 e com 0,33 mg/m<sup>3</sup> de erro médio quadrático (EMQ) (Figura 4 e Tabela 1). Este desempenho foi próximo ao encontrado por Kampel et al. (2009) para o OC3M na bacia de Campos (com 0,36 mg/m<sup>3</sup> de EMQ). O modelo aplicado a dados de  $R_{rs}$  *in situ* apresentou um desempenho um pouco melhor com  $R^2$  de 0,72 e com 0,26 de EMQ, devido à menor influência de ruídos (i.e., ambientais e do sensor) na  $R_{rs}$  estimada por satélite. No entanto, o *bias* absoluto do OC3M *in situ* foi igual ao OC3M MODIS-Aqua com 44% (Tabela 1). Essa diferença entre a *Cla* medida *in situ* e o OC3M é dada pelas incertezas nas

medidas tanto de Cla como de R<sub>rs</sub> (in situ e de satélite), bem como a variabilidade bio-óptica e mistura de diferentes COAs (Szeto et al., 2011; Rudorff et al., 2013). Nas áreas mais rasas e próximas aos rios a mistura óptica foi maior aumentando as incertezas do OC3M, mas vale ressaltar que as incertezas também foram altas nas áreas oligotróficas do talude, decorrentes de outras fontes de incerteza (como mostra a dispersão em todo gradiente de Cla, Figura 4). Para resolver o problema da influência dos outros COAs, os modelos semi-analíticos podem ser mais adequados para águas opticamente complexas (Caso 2 (Morel e Prieur, 1977)). De modo geral estes modelos apresentaram uma menor dispersão, mas com um bias alto de subestimação na determinação do  $a_{phv}$ 443 (Figura 4 e Tabela 1). Retirando a estação A1 que foi logo na desembocadura do Rio Itapemirim (ao sul), o  $R^2$  torna-se mais alto para todos os modelos (e.g., 0.82 para o QAA). Devido ao caráter sistemático destes erros, a subestimação dos modelos semi-analíticos (-41 a -50%) foi possivelmente relacionada a uma superestimação do a<sub>phy</sub>443 medido in situ, já que o método utilizado (com hipoclorito de sódio) tende a ser mais eficiente que métodos tradicionais (com metanol, por exemplo) (Mitchell et al., 2002) que são usados na calibração destes modelos. Outra fonte de variabilidade bio-óptica que deve ter aumentado a dispersão principalmente para o GSM e GIOP é em relação às diferentes proporções de  $a_{phv}443/Cla$ , pois estes modelos utilizam valores médios globais fixos para esta proporção. De fato os pontos que mais desviaram da reta da regressão linear foram as estações costeiras que apresentaram maior variabilidade de a<sub>phy</sub>443/Cla. Outros parâmetros como a inclinação espectral do detritos+MOCD e do retroespalhamento das partículas também podem ser fontes de erros nesses modelos já que eles são parametrizados com dados globais (IOCCG, 2006).



Figura 4. Comparação do OC3M obtido com dados de  $R_{rs}$  *in situ* (N=29) e MODIS-Aqua (N=21) com os dados de *Cla in situ* (a), comparação do  $a_{phy}443$  obtido dos modelos GSM (b), QAA (c) e GIOP (d), com os dados MODIS-Aqua vs. as medidas *in situ* (N=24).

Tabela 1. Diferença média normalizada (bias), erro médio quadrático (EMQ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre os valores modelados OC3M obtidos com a  $R_{rs}$  *in situ* (N=29) e  $R_{rs}$  MODIS-Aqua (N=21), com os valores de *Cla* medidos *in situ*, bem como entre os valores de  $a_{phy}443$  modelados com o GIOP, GSM e QAA aplicados a dados MODIS-Aqua, com os valores de  $a_{phy}443$  medidos *in situ* no AMBES 2013 (N=24).

|                        | Bias Relativo (%) | Bias Absoluto (%) | EMQ   | $R^2$ |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|
| OC3M in situ           | -38,31            | 44,0              | 0,26  | 0,72  |
| OC3M MODIS             | -8,32             | 44,0              | 0,33  | 0,69  |
| $a_{\rm phy}$ 443 GIOP | -41               | 45                | 0,036 | 0,73  |
| $a_{\rm phy}$ 443 GSM  | -50               | 53                | 0,038 | 0,69  |
| $a_{\rm phv}$ 443 QAA  | -52               | 55                | 0,048 | 0,51  |

# 4. Conclusões

As águas da plataforma e talude do ES apresentaram uma complexidade óptica moderada com influência de aportes de rios de pequeno e médio porte, principalmente os rios Doce, Vitória e Itapemirim. Ao norte, a extensa plataforma do Banco de Abrolhos com ecossistemas de corais e a resuspensão de fundo associada a ventos intensos, aumentam a CSM. Sistemas ciclônicos como o Vórtice de Vitória e ressurgências locais, aumentam a CSM no setor sul da plataforma do ES. Tanto para as águas da plataforma como para o talude o modelo OC3M apresentou incertezas moderadas-altas associadas a ruídos nos dados de  $R_{rs}$ (in situ e de satélite) e à complexidade óptica do ambiente, primeiramente devido a influência dos rios e resuspensão de fundo, e secundariamente devido às variabilidades menores, por exemplo, relacionadas aos grupos fitoplanctônicos. Os modelos semi-analíticos melhoraram as estimativas para toda a área de estudo, mas apresentaram também incertezas relacionadas aos erros nas medições e à variabilidade secundária (e.g., do  $a_{phv}443/Cla$ ). O modelo GIOP tem um conceito diferenciado por ser generalizado e permitir ao usuário ajustar melhor os parâmetros específicos. Este modelo, portanto tem o potencial de melhorar os produtos de cor do oceano para a plataforma e talude do ES com o ajuste regional. Programas de coleta in situ devem ser estimulados para formar uma base robusta capaz de realizar o ajuste para esta e outras regiões costeiras do Brasil a fim de obtermos produtos mais adequados para o monitoramento dos processos costeiros e meteo-oceanográficos.

# Agradecimentos

Fonte Financiadora CENPES-PETROBRAS Termo de Cooperação 0050.0066309.11.9 INPE/FUNCATE.

# **Referencias Bibliográficas**

ANA, Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>, 03/Set/2014.

Bailey, S. W.; Werdell, P. J. A multi-sensor approach for the on-orbit validation of ocean color satellite data products. **Remote Sensing of Environment**, v. 102, n. 1-2, p. 12–23. 2006.

Ciotti, A. M.; Lewis, M. R.; Cullen, J. J. Assessment of the relationships between dominant cell size in natural phytoplankton communities and the spectral shape of the absorption coefficient. Limnology and Oceanography, v. 47, n. 2, p. 404–417, 2002.

Gaeta, S. A.; J. A. Lorenzzetti; L. B. Miranda; S. Susini-Ribeiro; M. Pompeu. The Vitória Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral 1995. Arch. Fish. Marine Research., 47, 253-270, 1999.

IOCCG, **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., 2000.

IOCCG, **Remote sensing of inherent optical properties: fundamentals, tests of algorithms, and applications**. 5. ed. Dartmouth, Canada: Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, 124 p., 2006.

Kampel, M.; Lorenzzetti, 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**, v. 29, n. 9, p. 528-541, 2009.

Lee, Z. P., Carder, K.L., Arnone, R. Deriving inherent optical properties from water color: multiband quasianalytical algorithm for optically deep waters. **Applied Optics**, v. 41, p. 5755-5772, 2002.

Maritorena, S.; Siegel, D.; Peterson, A.R. Optimization of a semi-analytical ocean color model for global-scale application. **Applied Optics**, v. 41, p. 2705-2714, 2002.

Mitchell, B. et al., Determination of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. **Ocean optics protocols**, v. 4, p. 39–60. 2002.

Miranda, L. B e Castro, B. M. Geostrophic flow conditions at 19°S, 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.

Mueller, J. L.; Fargion, G. S.; McClain, C. R. Ocean optics protocols for satellite ocean color sensor validation - revision 4, Volume III : **Radiometric Measurements and Data Analysis Protocols**, NASA technical Report, Greenbelt, Maryland, NASA. NASA/TM-2003-21621/Rev-Vol III. 2003.

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.

Rudorff, N. M., Frouin, R., Kampel, M. Goyens, C., Meriaux, X., Shieber, B., Mitchell, B. G., Ocean-colour radiometry across the Southern Atlantic and Southeastern Pacific: Accuracy and remote sensing implications. **Remote Sensing of Environment**, v. 149 (13-32), 2014.

Segal, B.; Evangelista, H.; Kampel, M.; Gonçalves, A. C.; Polito, P. S.; dos Santos, E. A. Potential impacts of polar fronts on sedimentation processes at Abrolhos coral reef (South-West Atlantic Ocean/Brazil). **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 4-5, p. 533–544, mar. 2008.

Schlitzer, R. Ocean Data View, http://odv.awi.de. 2014.

Schimid, C. H., H. Schafer, G. Podesta, e W. Zenk, The Vitória Eddy and its relation to the Brazilian Current. **Journal of Physical Oceanography**, 25(11), 2532-25, 1995.

Szeto, M. et al. Are the world's oceans optically different? **Journal of Geophysical Research**, v. 116, n. July, p. C00H04, 2011.

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.

Zoffoli, M. L. ; Kampel, M. ; Frouin, R. . Temporal characterization of the diffuse attenuation coefficient in Abrolhos Coral Reef Bank, Brazil. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 7856-7863, 2013.