

## Estudo da variabilidade temporal da concentração de clorofila estimada por satélite na plataforma continental catarinense: latitude 26° 46' S

Mauricio Almeida Noernberg <sup>1</sup>  
Milton Kampel <sup>2</sup>  
Frederico Pereira Brandini <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná - UFPR/CEM  
Caixa Postal 50002 - 83255-000 – Pontal do Paraná - PR, Brasil  
m.noernberg@ufpr.br, brandini@ufpr.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
milton@dsr.inpe.br

**Abstract.** The temporal variability of satellite-based estimate of chlorophyll *a* concentration from Sea-viewing Wide Field of view Sensor (SeaWiFS) ocean color data was evaluated during a 9 years period (1997-2006) along a shelf transect at the latitude of 26° 46' S, in front of Itajaí, State of Santa Catarina, Brazil. It was possible to spatially delimitate the enrichment of the coastal waters in the region due to continental runoff during the austral summer (until 40 km from the coast), and the remote influence from the drainage from Rio de la Plata and Patos Lagoon during wintertime (between 50 and 110 km from the coast).

**Palavras-chave:** ocean color remote sensing, SeaWiFS, chlorophyll, continental shelf, sensoriamento remoto da cor do oceano, SeaWiFS, clorofila, plataforma continental.

### 1. Introdução

A concentração de clorofila na superfície das águas apresenta significativa variabilidade espacial e temporal, especialmente nas águas costeiras. Isto traz a necessidade de longas séries temporais para permitir a distinção entre tendências de curto e longo termo e também para identificar os mecanismos que governam estas variabilidades.

De modo geral, a variabilidade na concentração do fitoplâncton é dependente de condições simultâneas favoráveis de luz e nutrientes durante um determinado período. O grau variado das possíveis combinações desses fatores ao longo de múltiplas escalas espaciais e temporais é o que determina as diferenças de produtividade nos diversos setores da plataforma da região sul-sudeste brasileira.

Na plataforma continental da região sul-sudeste estudos de diversas naturezas têm sido realizados, entre eles estudos biogeográficos de espécies fitoplanctônicas como indicadoras de massas de água, estudos da distribuição de clorofila e taxas de produtividade do fitoplâncton, e ainda estudos sazonais da distribuição sobre biomassa, produção e composição do fitoplâncton em relação à estrutura oceanográfica na plataforma, como revisado por Gaeta e Brandini (2006). Estudos envolvendo significativas séries temporais ainda são incipientes e com escalas espaciais abrangentes, como Gonzalez-Silvera et al., 2004, Brandini et al., 2000, Garcia et al., 2004.

Uma importante ferramenta complementar disponível é o sensor *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS) a bordo da plataforma OrbView 2, que oferece estimativas diárias de concentração de clorofila na camada superficial dos oceanos desde setembro de 1997. As principais limitações estão relacionadas à amostragem restrita à primeira profundidade óptica

e à cobertura de nuvens. Porém, apresenta como vantagens uma grande cobertura espacial e alta periodicidade na obtenção de dados. Estas características permitem não somente a análise da concentração média de pigmentos na camada superficial, mas também, dos respectivos padrões de variabilidade espacial e temporal.

O objetivo deste trabalho é analisar a variabilidade temporal da concentração de clorofila *a* obtida por satélite na costa catarinense, entre setembro de 1997 e agosto de 2006, ao longo de um transecto radial à costa ao longo da latitude  $26^{\circ}46'S$ , e identificar as tendências de curto e longo termo dos mecanismos que governam a fertilização das águas na região.

## 2. Área de Estudo

A área de estudo corresponde à plataforma continental catarinense (na latitude de  $26^{\circ}46'S$ ), nas proximidades de Itajaí-SC, entre as longitudes de  $48^{\circ}33'W$ , sobre a isóbata de 20 m e  $47^{\circ}04'W$ , sobre a isóbata de 140 m (Figura 1). Nesta área inserida na plataforma continental sueste brasileira ocorre intensa atividade pesqueira, a qual é dependente da produtividade primária. Neste transecto também estão sendo realizados cruzeiros periódicos para obtenção de dados *in situ* da estrutura hidrográfica, correntes, fitoplâncton e zooplâncton através do projeto “Dinâmica das Interações Físico-Biológicas no Sistema Pelágico da Plataforma Continental da Região Sueste” – PROPEL (CNPq – 474165/2004-3).

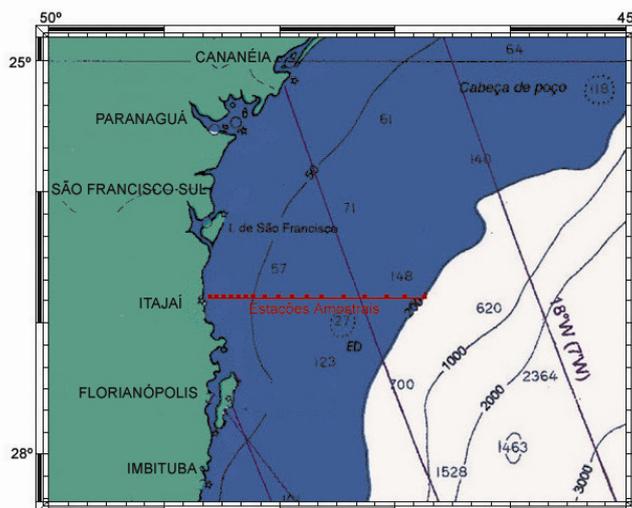


Figura 1. Localização da área de estudo e das estações amostrais do projeto PROPEL.

## 3. Aquisição e Processamento de Dados SeaWiFS

A missão SeaWiFS tem como principal objetivo fornecer dados quantitativos das propriedades bio-ópticas dos oceanos (Kampel et al. 2005). O satélite descreve órbita circular, heliossíncrona e está posicionado a 705 km de altitude. O sensor possui 8 canais espectrais a partir do qual são derivados diferentes produtos da cor do oceano, tais como a radiância emergente da superfície do mar, a concentração de clorofila *a* e o coeficiente de atenuação vertical da luz difusa, entre outros. Neste trabalho foram utilizadas médias mensais de concentração de clorofila (CSM), com resolução espacial de 9 km distribuídas em formato HDF pelo grupo *Ocean Biology Processing Group* (OBPG), do *Goddard Space Flight Center* (GSFC), NASA, para o período entre setembro de 1997 e agosto de 2006.

As concentrações de clorofila foram estimadas pelo emprego do algoritmo empírico padrão da NASA, o *Ocean Chlorophyll 4-bands*, versão 4 (OC4v4). Este algoritmo utiliza a

razão máxima das reflectâncias espectrais nas bandas 443/555, 490/555 e 510/555  $\mu\text{m}$ , respectivamente. O algoritmo é expresso por (O'Reilly et al. 2000):

$$C_a = 10.0^{(0.366 - 3.067R_{4S} + 1.930R_{4S}^2 + 0.649R_{4S}^3 - 1.532R_{4S}^4)} \quad (\text{Eq.1})$$

onde,  $R$  é a reflectância de sensoriamento remoto e  $R_{4S} = \log_{10}(R_{25} > R_{35} > R_{45})$ , ou seja, o logaritmo do máximo entre os três valores.

Os valores de CSM foram extraídos das imagens para cada estação amostral do projeto PROPPEL, em ambiente computacional Linux-SeaDAS versão 5.03. Ao todo foram geradas 10 séries temporais referentes às estações listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Estações amostrais do projeto PROPPEL onde foram geradas as séries temporais de concentração de clorofila.

<i>Estação</i>	<i>Profundidade (m)</i>	<i>Distância da Costa (km)</i>	<i>Latitude S</i>	<i>Longitude W</i>
#1	20	26	26°46' 012"	48°33' 383"
#2	30	33	26°45' 938"	48°29' 348"
#3	40	42	26°45' 893"	48°24' 894"
#4	50	62	26°45' 900"	48°13' 706"
#5	70	107	26°45' 883"	47°49' 700"
#6	80	111	26°45' 810"	47°46' 662"
#7	90	121	26°45' 851"	47°42' 145"
#8	100	137	26°45' 778"	47°33' 555"
#9	120	158	26°45' 754"	47°22' 014"
#10	140	190	26°45' 915"	47°04' 578"

#### 4. Estrutura Oceanográfica

Os processos físicos hidrográficos associados a fatores climáticos como radiação solar e ventos, específicos de cada região, associados à disponibilidade de nutriente, é que determinam a variabilidade na produtividade primária local.

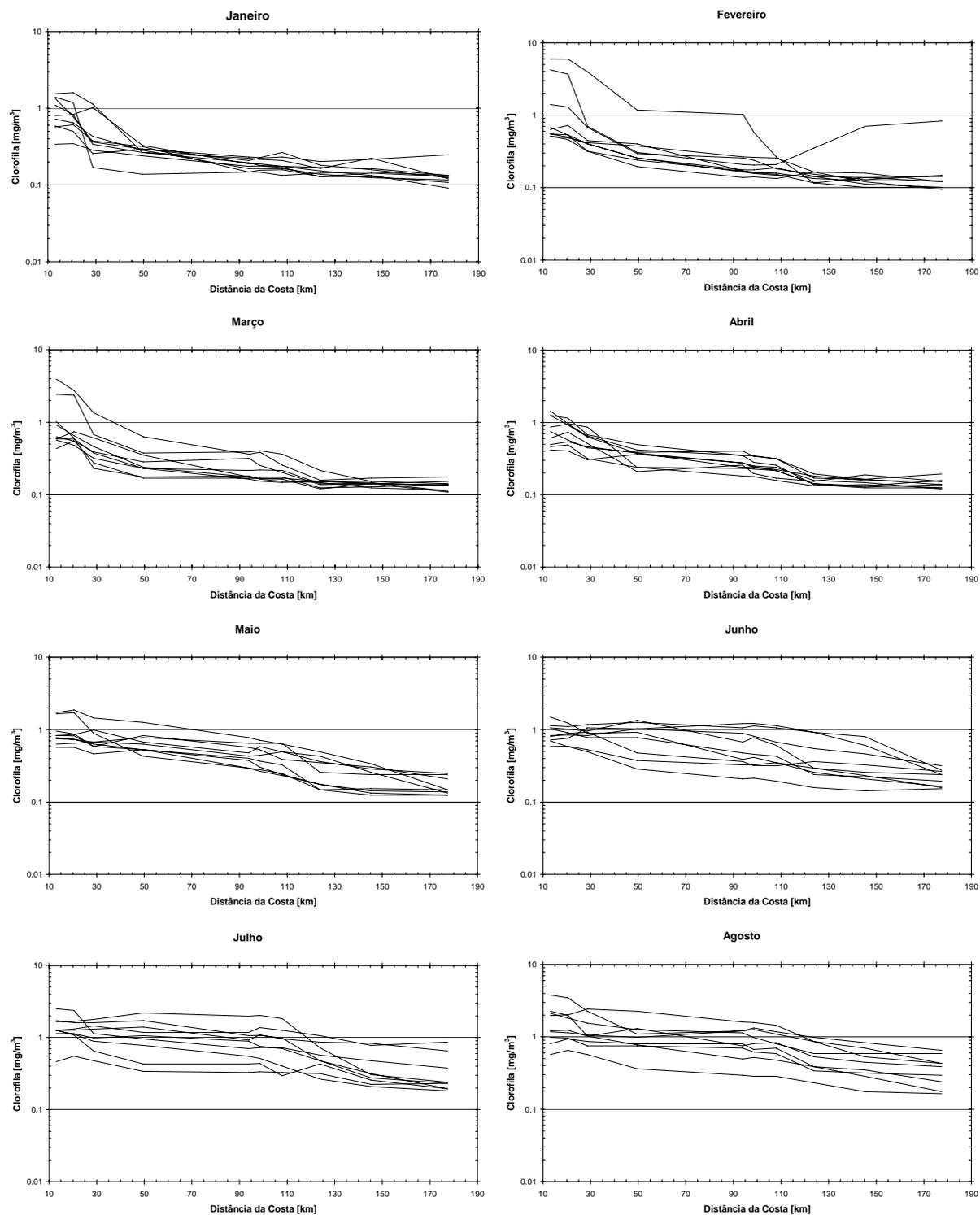
A parte mais interna da plataforma continental sueste é ocupada principalmente pela AC (Água Costeira), que é resultante da mistura da descarga continental de água doce com as águas da plataforma continental, fato que a caracteriza como a massa de água de menor salidade ( $S < 34$ ) na região (Miranda 1982). Ao largo dessa massa de água costeira ocorre a presença de águas com influência da Água Tropical (AT) e da Água Central do Atlântico Sul (ACAS). A AT é quente e salina ( $T > 20$  °C e  $S > 36.40$ ; Miranda 1982) transportada para sul-sudoeste na camada superficial (0-200m) da Corrente do Brasil (CB), nas proximidades da quebra da plataforma continental. A ACAS é relativamente fria ( $T < 20$  °C e  $S < 36.40$ ; Miranda 1982) e transportada para sul-sudoeste próximo à quebra da plataforma. Durante o verão, a ACAS penetra na camada profunda em direção à costa, atingindo muitas vezes a parte mais interna da plataforma continental, e no inverno se afasta da costa, aumentando a área ocupada pela AC (Castro et al. 1987).

De modo geral a AC permanece mais produtiva durante todo o ano, devido ao enriquecimento pela drenagem dos rios e bacias semi-protegidas. Ao contrário, a AT apresenta baixas concentrações de nutrientes caracterizando sua condição oligotrófica. A ACAS possui nutrientes em abundância, mas normalmente ocupa estratos inferiores da coluna de água, com radiação solar insuficiente. Desta forma, apresenta uma fertilidade potencial caso essa água fique exposta a quantidades de radiação suficiente. Isto pode ocorrer através de processos físicos como ressurgências, vórtices ciclônicos e ondas internas (Brandini 1990,

Campos et al. 1996, Mesquita, et al. 1993, Valentin 1984, Kampel 2003, Gaeta e Brandini 2006).

#### 4. Resultados e Discussão

A variação mensal da CSM derivada do SeaWiFS durante o período de 9 anos é apresentada na **Figura 2**, onde nota-se marcada variabilidade na distribuição temporal em relação à distância da costa nos diferentes meses e também, com significativa variabilidade espacial em alguns meses como fevereiro, junho e julho.



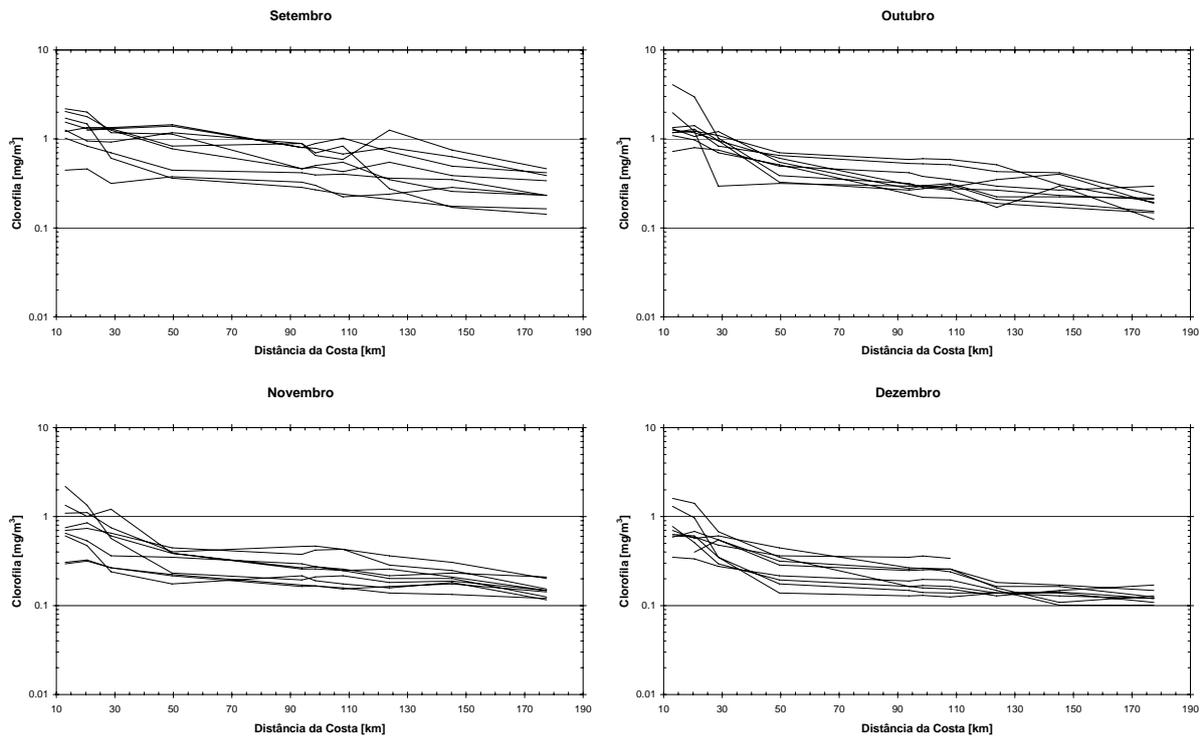


Figura 2. Variação mensal da concentração de clorofila obtida por satélite na latitude  $26^{\circ} 46'S$ , entre setembro de 1997 e agosto de 2006, ao largo de Itajaí, SC.

A variação média mensal, ou “climatologia” para o período de 9 anos (Figura 3), mostra que há, de forma geral para todos os meses, uma maior CSM próximo à costa, que vai diminuindo na direção ao largo ou *offshore*. A forma como se dá essa diminuição da CSM é que varia ao longo dos meses.

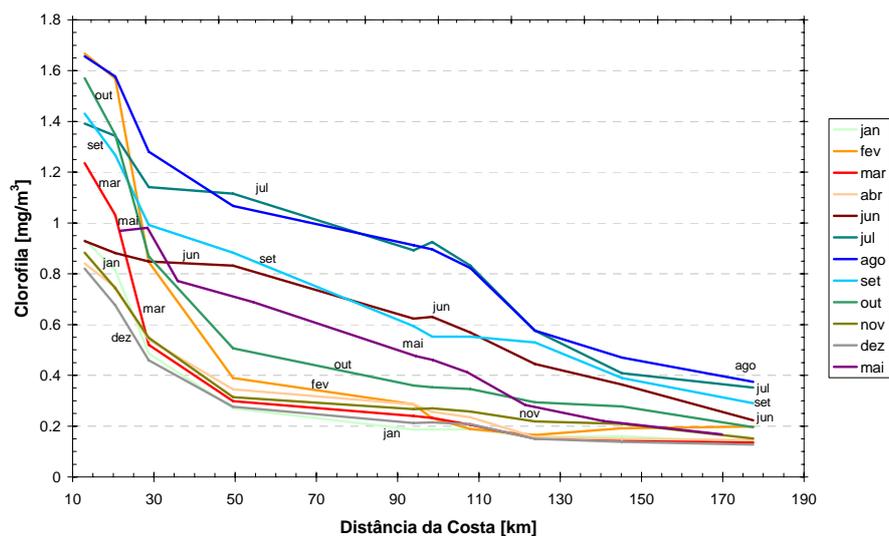


Figura 3. Variação média mensal da concentração de clorofila estimada por satélite na latitude  $26^{\circ} 46'S$ , entre setembro de 1997 e agosto de 2006, ao largo de Itajaí, SC.

A análise da variação temporal da CSM (Figura 4) permite identificar claramente dois mecanismos de fertilização das águas da plataforma, com características sazonais, já sugeridos na literatura, contudo sem o detalhamento espacial e temporal aqui apresentado.

No verão, observam-se elevadas concentrações de clorofila nas proximidades da costa, com pico em fevereiro, as quais decrescem oceano adentro até aproximadamente 40 km da costa (isóbata de 40 m). Estas concentrações podem ser associadas à fertilização direta das águas costeiras pela drenagem continental. Isto pode ser corroborado pelos elevados coeficientes de variação nesses meses (**Figura 5**), caracterizados pelos “pulsos” da drenagem continental devido às chuvas de verão. Curiosamente se observam elevados coeficientes de variação nas isóbatas 120 e 140 m no mês de fevereiro.

As anomalias mensais de CSM calculadas em relação às médias “climatológicas” de 9 anos (**Figura 6**) indicam que nos meses de fevereiro de 1998 e 2001, respectivamente, ocorreram anomalias positivas de CSM significativas. Ainda que uma análise estatística conclusiva deva ser realizada, pode-se sugerir algum tipo de associação a eventos de *El Niño* intensos como o de 1997/1998. Com relação a 2001, as frentes frias que avançaram sobre a região sul do Brasil e a atuação de aglomerados de nuvens convectivas favoreceram o aumento das chuvas no Paraná e litoral de Santa Catarina. Com exceção do sul do Rio Grande do Sul e extremo norte do Paraná, as chuvas estiveram acima da média em praticamente toda a região. Em Santa Catarina, predominaram desvios positivos de precipitação no Vale do Itajaí, com cotas elevadas da ordem de 111,3% (Climanálise 2001).

Ciotti et al. (1995) e Campos et al. (1996) atribuem à invasão de água fria e menos salina na plataforma da região sueste durante o inverno como resultado da drenagem do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos, quando predominam os ventos de sudoeste. Essas águas frias fertilizam as águas da plataforma como mostrado pelos elevados valores de clorofila nos meses de inverno. Diferentemente do verão, no inverno o gradiente horizontal de clorofila é menos acentuado, indicando que essa fertilização remota tem maior influência entre 50 e 110 km da costa, ou seja, nas isóbatas de 45 e 80 m respectivamente.

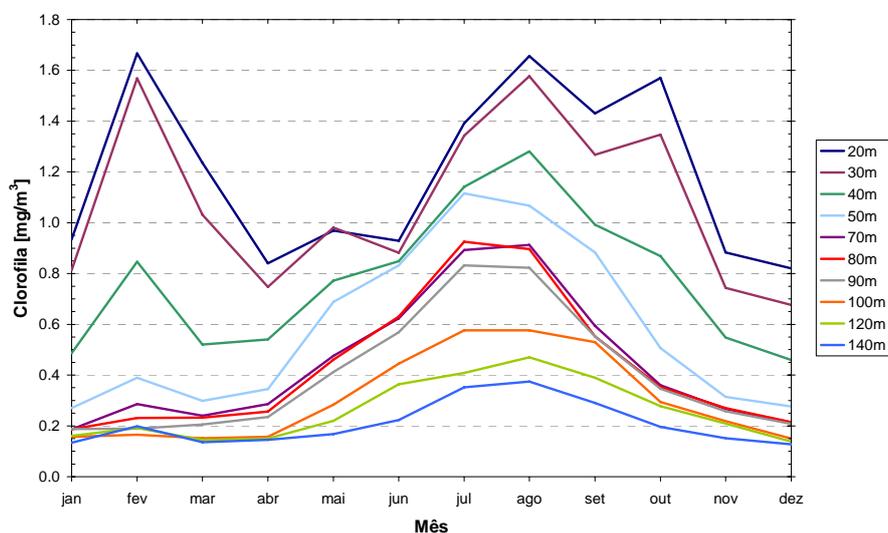


Figura 4. Variação temporal da concentração de clorofila estimada por satélite em diferentes profundidades, referentes às estações amostrais do projeto PROPPEL, ao longo da latitude 26° 46'S, entre setembro de 1997 e agosto de 2006, ao largo de Itajaí, SC.

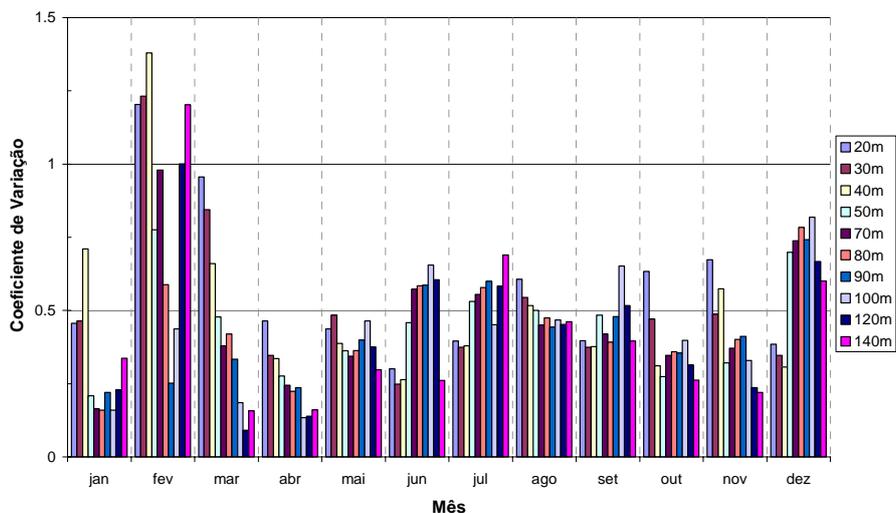


Figura 5. Coeficiente de variação da concentração de clorofila estimada por satélite em diferentes profundidades, referentes às estações amostrais do projeto PROPPEL, ao longo de 26° 46'S, entre setembro de 1997 e agosto de 2006, ao largo de Itajaí, SC.

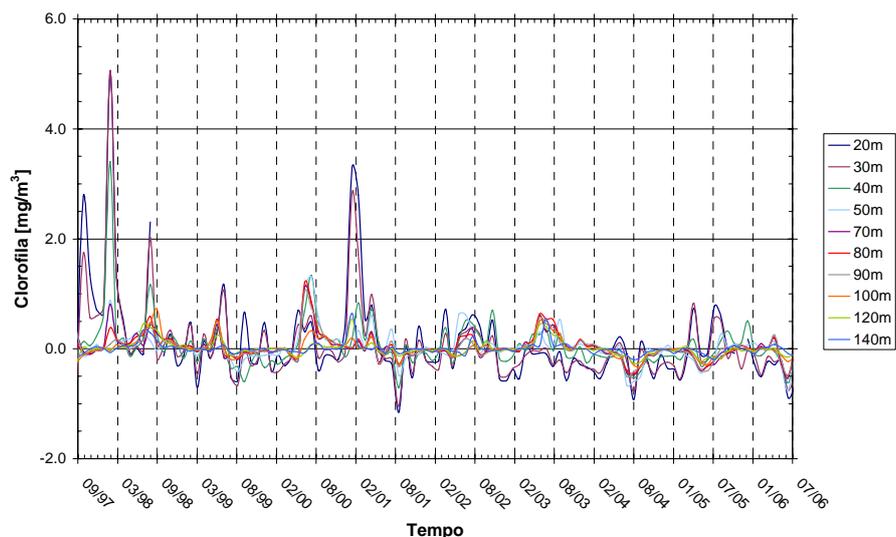


Figura 6. Anomalias de concentração de clorofila *a* obtidas pelo sensor orbital SeaWiFS para as estações amostrais do projeto PROPPEL, ao longo de 26° 46'S, entre setembro de 1997 e agosto de 2006, ao largo de Itajaí, SC.

#### 4. Considerações Finais

Estimativas da concentração de clorofila *a* obtidas pelo sensor orbital SeaWiFS em um período de 9 anos na costa catarinense ao longo de um transecto radial à costa permitiram delimitar espacialmente a influência da fertilização das águas costeiras pela drenagem continental durante o verão (até 40 km da costa) e pela drenagem remota do Rio da Prata e Lagoa dos Patos durante o inverno (entre 50 e 110 km da costa).

Sugere-se ainda, haver influência de eventos globais como o *El Nino*, na concentração de clorofila na região da plataforma continental, o que requer a realização de análises mais detalhadas.

O uso de longas séries de dados de concentração de clorofila na plataforma continental, derivadas de sensores orbitais, contribui de forma significativa na identificação e

entendimento dos processos que controlam sua variabilidade espacial e temporal e, conseqüentemente, dos processos ecológicos relacionados.

## Referências

Brandini, F.P. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters of southeastern Brazil during winter (july/august 1982) and summer (February/march 1984). **Hydrobiologia**, v. 196, p. 111-148, 1990.

Brandini, F.P.; Boltovskoy, D.; Piola, A.; Kocmur, S.; Röttgers, R.; Abreu, P.C.; Lopes, R.M. Multiannual trends in fronts and distribution of nutrients and chlorophyll in the southwestern Atlantic (30°-62°S). **Deep-Sea Research I**, v. 47, p. 1015-1033, 2000.

Campos, E.J.D., Lorenzetti, J.A., Stevenson, M.R., Stech, J.L., Souza, R.B. Penetration of waters from the Brazil-Malvinas Confluence region along the South America continental shelf up to 23° S. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, n. 1, p. 49-58, 1996.

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

Ciotti, A.M., Odebrecht, C., Filmann, G., Möller Jr, O.O. Freshwater outflow and subtropical convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazil shelf. **Continental Shelf Research**, v. 15, n. 4, p. 1737-1756, 1995.

Climanálise. Boletim de monitoramento e análise climática. CPTEC/INPE, v. 16, n. 02, 2001.

Gaeta, S.A, Brandini, F.P. Produção primária do fitoplâncton na região entre Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: Rossi-Wongtschowski, C.L.D.B., Madureira, L.S. **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil**. São Paulo: Edusp, 2006. 472 p, p. 219-264.

Garcia, C.A.E.; Sarma, Y.V.B.; Mata, M.M.; Garcia, V.M.T. Chlorophyll variability and eddies in the Brazil-Malvinas Confluence region. **Deep-Sea Research II**, v.51, p. 159-172, 2004

Gonzalez-Silvera, A.; Santamaría-del-Angel, E.; Gracia, V.M.; Garcia, C.A.E.; Millán-Nuñez, R.; Muller-Karger, F. Biogeographical regions of the tropical and subtropical Atlantic Ocean off South America: classification based on pigment (CZCS) and chlorophyll-*a* (SeaWiFS) variability. **Continental Shelf Research**, v.24, p. 983-1000, 2004.

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 de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico. Novembro, 2003. 272p.

Kampel, M.; Gaeta, S. A., Lorenzetti, J. A., Pompeu, M. Estimativa por satélite da concentração de clorofila *a* superficial na costa sudeste brasileira, região oeste do Atlântico Sul: Comparação dos algoritmos SeaWiFS. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. **Anais**, p.3633-3641 (ISBN 85-17-00018-8).

Mesquita, H.S.L. Densidade e distribuição do bacterioplâncton nas águas de Ubatuba (23°S; 45°W), estado de São Paulo. **Publ. Esp. Instituto Oceanográfico de São Paulo**, v. 10, p. 45-63, 1993.

Miranda, L. B. **Propriedades e variáveis físicas das águas da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) à Ilha de São Sebastião (SP)**. 1982. 194 p. USP. Tese de Livre Docência - Instituto Oceanográfico, São Paulo. 1982.

O'Reilley, J. E.; Maritorena, S.; O'Brien, M. C.; Siegel, D. A.; Toole, D.; Menzies, D.; Smith, R. C.; Mueller, J. L.; Mitchell, B. G.; Kahru, M.; Chavez, R. P.; Strutton, P.; Cota, G. F.; Hooker, S.B.; McClain, C.R.; Carder, K. L.; Mueller-Karger, F.; Harding, L.; Magnuson, A.; Phynney, D.; Moore, G.F.; Aiken, J.; Arrigo, K.R.; Letelier, R.; Culver, M. SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3, Volume 11. In: S. B. Hooker e E. R. Firestone (ed). **NASA Tech. Memo**. 2000-2206892. Greenbelt, Md, NASA Goddard Space Flight Center, 2000.

Valentin, J.L. Analyse des paramètres hydrobiologiques dans la remontée de Cabo Frio (Brésil). **Marine Biology**, v. 82, p. 259-276, 1984.