

A RESPOSTA DA BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA EM RELAÇÃO À VARIAÇÃO DA ZONA EUFÓTICA E PROFUNDIDADE DA CAMADA DE MISTURA

João Felipe Cardoso dos Santos¹

¹Departamento de Sensoriamento Remoto – INPE
Av. dos Astronautas 1758, Jd. da Granja, São José dos Campos, SP.
{joaofcs@dsr.inpe.br}

Resumo

A biomassa fitoplanctônica é essencial na manutenção da vida aquática e terrestre. Saber quantificá-la significa poder avaliar a produtividade de estoques pesqueiros, do desenvolvimento larval e de peixes juvenis e o sequestro de carbono atmosférico pelo fitoplâncton através da fotossíntese. Para que haja a fotossíntese são necessárias condições ideais de luz e nutrientes. Na Bacia de Santos, região da plataforma sudeste do litoral brasileiro e região oceânica adjacente, a luz não é fator limitante para o crescimento fitoplanctônico. Os nutrientes são os responsáveis pela variação dessa biomassa e estes ficam disponíveis através da mistura de águas subsuperficiais, ricas em nutrientes, para águas superficiais que recebem a radiação solar incidente. Nesse contexto, se avaliou para o período de janeiro de 2011 a dezembro de 2013 a variação na profundidade da camada de mistura da coluna d'água e também da zona eufótica. Além disso, avaliou-se o desempenho de diferentes modelos de estimativas destes produtos. Modelos de profundidade da zona eufótica baseados na concentração de clorofila-*a* apresentam melhor desempenho em regiões oceânicas e modelos baseados nas propriedades ópticas inerentes são mais robustos nas estimativas sobre a plataforma continental. A biomassa encontra as condições ideais de crescimento no período da primavera (sobre a plataforma) e no inverno (em oceano aberto).

1. Introdução

O Sensoriamento Remoto orbital fornece uma visão sinóptica dos oceanos, que associada a medidas in situ e modelos numéricos, permite aprimorar a descrição e o entendimento do Oceano Atlântico Sudoeste. As aplicações dos dados orbitais são tão diversas que podemos considerar este meio de aquisição de informações para a oceanografia como um todo – física, química, biológica e geológica – tão eficaz como as informações obtidas por métodos convencionais (KAMPEL, 2002).

Com dados de sensoriamento remoto da cor do oceano, pode-se estimar a concentração de clorofila na superfície do mar (CSM) e utilizá-la como índice de biomassa fitoplanctônica. É possível também, estimar a profundidade da zona eufótica (ZEU), como uma medida da claridade da água e como uma propriedade importante para a produção primária na camada superior do oceano. Estas imagens oferecem uma observação sinóptica de características biológicas de sistemas dinâmicos como as frentes oceânicas, ressurgências e vórtices de mesoescala.

As imagens de satélite oferecem uma oportunidade praticamente única para a comparação bidimensional e simultânea da variabilidade biológica (biomassa fitoplanctônica) e física (profundidade da camada de mistura) na camada superior do oceano.

O ciclo anual da biomassa fitoplanctônica é dominado por uma rápida e intensa explosão populacional, o bloom de primavera (HENSON et. al., 2006). Durante o inverno, ventos fortes e a perda de calor da superfície do mar durante para a atmosfera induz processos convectivos na coluna d'água. A mistura vertical das águas de subsuperfície e superficiais determinam a disponibilidade de nutrientes na zona eufótica que estará disponível para a produção fitoplanctônica na primavera seguinte (KOEVE, 2001), conforme a intensidade luminosa aumenta (HENSON et. al., 2009).

Entretanto, para a região subtropical, a irradiância não é fator limitante no ciclo de crescimento do fitoplâncton. A limitação por nutrientes, relacionada à profundidade da camada de mistura e a zona eufótica são as principais variáveis que podem ser relacionadas com a variação da biomassa fitoplanctônica da região subtropical. Sob estas condições o fitoplâncton cresce rapidamente em um determinado período de

tempo importante para o desenvolvimento do zooplankton, crescimento larval e estoque pesqueiro (PLATT et. al., 2003) e a sazonalidade do consumo de carbono (LUTZ et. al., 2007). A camada de mistura é definida como a região onde a variação da temperatura da água é menor que 0,5°C com relação à temperatura de superfície (KAMPEL e BARBEDO, em fase de elaboração).

Produção primária é o processo de fixação biológica de carbono inorgânico em moléculas orgânicas por meio da fotossíntese (GAETA e BRANDINI, 2006). A fixação total do carbono representa a Produção Primária Bruta (PPB), ao passo que a Produção Primária Líquida (PPL) representa a PPB menos a respiração dos autótrofos. Em ambientes aquáticos naturais é impossível estimar a PPL, uma vez que autótrofos e heterótrofos ocupam as mesmas classes de tamanho, coexistindo nas amostras de água obtidas para os experimentos de fotossíntese.

A absorção seletiva dos comprimentos de onda do azul e verde-azulado pelos pigmentos fotossintéticos, especialmente a clorofila-*a*, permite a quantificação da biomassa fitoplanctônica com base em medidas da cor do oceano. A combinação de dados de clorofila com o conhecimento da temperatura superficial do mar, irradiância solar incidente e profundidade da camada de mistura permite estimar a PPL para qualquer região oceânica (BEHERENFELD e FALKOWSKI, 1997 citado por GAETA e BRANDINI, 2006). Por sua vez, a fixação do carbono pelo fitoplâncton é importante para a retirada deste da atmosfera e sua importação para o fundo do mar, processo chamado de bomba biológica ou sequestro de carbono, essencial na manutenção do calor do planeta (LUTZ et. al., 2007).

A concentração de clorofila é qualitativamente relacionada à disponibilidade de nutrientes de águas subsuperficiais em direção à zona eufótica. A zona eufótica ($Z_{1\%}$) é definida como a região onde a radiação fotossinteticamente ativa é maior que 1% daquela que atinge a superfície do mar (KIRK, 1994). A partir desta profundidade a PPB não supera os gastos com respiração e a energia gerada pelos fotossintetizantes não é suficiente para manter a vida autotrófica (LEE et. al., 2007).

Os campos de superfície gerados a partir dos dados orbitais foram analisados de modo a destacar padrões oceanográficos importantes para a compreensão sobre a variabilidade da biomassa fitoplanctônica.

2. Metodologia

2.1. Área de Estudo

A área de estudo compreende a Bacia de Santos, Oceano Atlântico Sudoeste, entre aproximadamente as latitudes de 20°S (Cabo de São Tomé) e 30°S (Cabo de Santa Marta). Observa-se que a plataforma continental pode ser dividida a norte e a sul da Ilha de São Sebastião (Figura 1). Ao norte a plataforma se encurta e há uma quebra na geomorfologia, fazendo com que a costa se prolongue longitudinalmente. Essa formação intensifica processos de ressurgência no local (CASTRO et. al., 2006). Ao sul da Ilha de São Sebastião a plataforma se estende e está influenciada principalmente por processos locais.

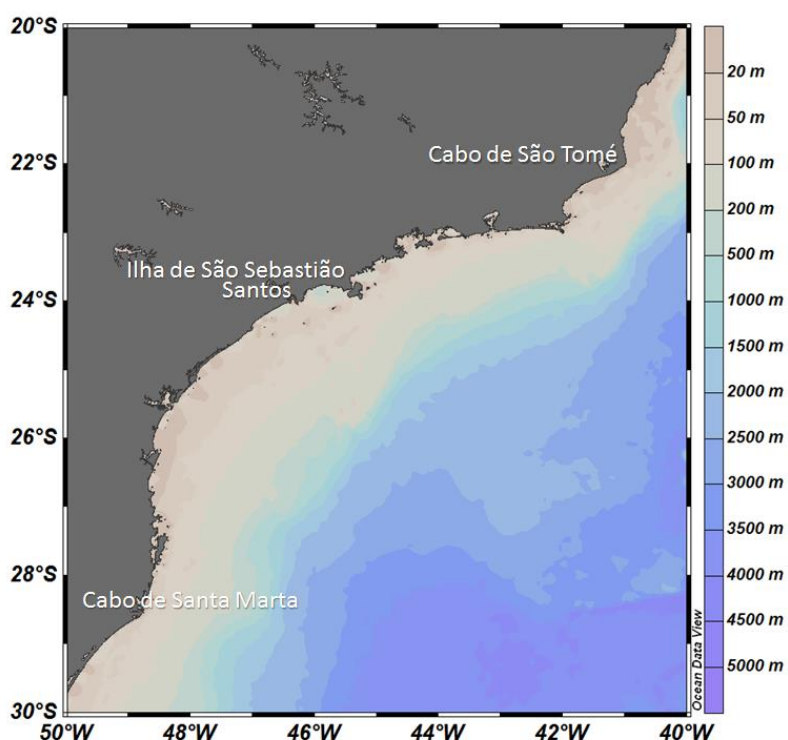


Figura 1: Mapa batimétrico da Bacia de Santos

Na região de estudo a plataforma interna é ocupada pela Água Costeira (AC), a Água Tropical (AT) está presente na plataforma externa e, abaixo desta, existe forte influência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) nas camadas inferiores. A ACAS é caracterizada por concentrações de nutrientes que, ao alcançarem a zona eufótica, são consumidos pelo fitoplâncton. Para que isso ocorra é necessário que haja o fenômeno de ressurgência, movimento de ascensão de águas de subsuperfície resultante da divergência positiva do transporte horizontal induzido pelo vento na camada superior do oceano (CASTRO et. al., 2006).

2.2. Dados de CSM, ZEU e PCM

Imagens médias mensais de CSM e ZEU foram geradas para a área da Plataforma Continental e Oceânica Sudeste do Brasil, a partir de dados do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo do satélite EOS-AQUA. Foram utilizados dados em formato HDF, referência geodésica DATUM WGS84, com resolução espacial de 4 km. Foram obtidos do *Ocean Biology Processing Group* (OBPG), do *Goddard Space Flight Center* (GSFC), NASA, compreendendo o período entre janeiro de 2011 e dezembro de 2013. As imagens e manipulação dos dados foram feitas no software *SeaWiFS Data Analysis System* (SeaDAS) versão 7.02.

As concentrações de clorofila (mg m^{-3}) foram estimadas com o emprego da versão mais recente do algoritmo padrão da NASA, OC3Mv6, reprocessamento R2010.0 concluído em 2011 (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/WIKI/OCReproc.html>). O algoritmo operacional para estimativa da CSM (O'REILLY et. al., 2000) foi atualizado com base em dados *in situ* NOMAD v2. O NOMAD é uma base global de dados bio-ópticos representativa de diferentes tipos de água, incluindo regiões costeiras e *offshore*.

A zona eufótica foi estimada utilizando os modelos propostos por Morel et. al., (2007), baseada em massas de água nas quais as propriedades ópticas inerentes podem ser descritas adequadamente pela concentração de clorofila-a. Também foi avaliada a estimativa da ZEU descrita por Lee et. al., (2007), baseado em regiões onde há dependência de outros constituintes opticamente ativos na água.

Médias mensais da profundidade da camada de mistura - MLD (do inglês Mixed Layer Depth), para o período de estudo, foram calculadas a partir de dados gerados pelo o modelo *Thermodynamic Ocean Prediction System* (TOPS), do *Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center* (FNMOC), da marinha americana (CLANCY e SADLER, 1992). A MLD também foi avaliada com o HYbrid Coordinate Ocean Model (HYCOM), baseada no Ocean General Circulation Model (OGCM) com uma resolução mais fina em regiões costeiras (<https://hycom.org/hycom/overview>).

A grade produzida pelos TOPS/FNMOC e HYCOM/OGCM tem resolução média de 10 km e foram obtidas de (<http://orca.science.oregonstate.edu/1080.by.2160.-monthly.hdf.mld.{fnmoc,hycom}.php>).

2.3. Divisão Espacial

Foram extraídas as séries temporais de valores médios mensais de CSM, ZEU, FNMOC e HYCOM para os domínios de "plataforma" e "oceano" na Bacia de Santos no período considerado. As anomalias foram calculadas pela diferença entre cada média mensal e a média “climatológica” (de todo o período).

De acordo com as características geomorfológicas e processos físicos que ocorrem na área de estudo, a Bacia de Santos foi dividida em quatro regiões (Figura 2):

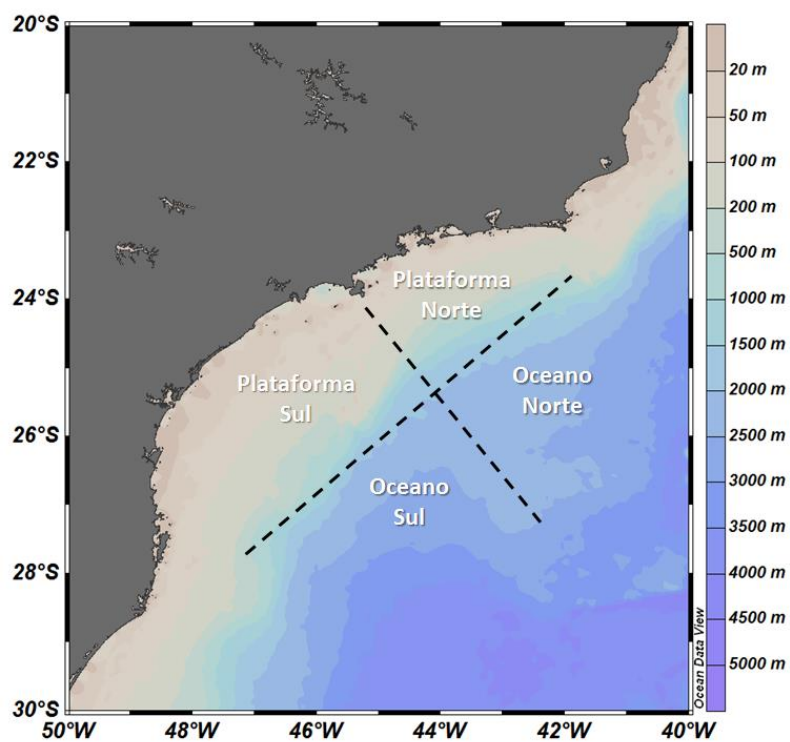


Figura 2: Divisão da área de estudo em quatro regiões, de acordo com os processos oceanográficos locais.

- Plataforma Norte (PN)
- Oceano Norte (ON)
- Plataforma Sul (PS)
- Oceano Sul (OS)

3. Resultados e Discussões

3.1. Clorofila-*a* na Superfície do Mar

As imagens da série temporal mensal de CSM estão apresentadas na Figura 3.

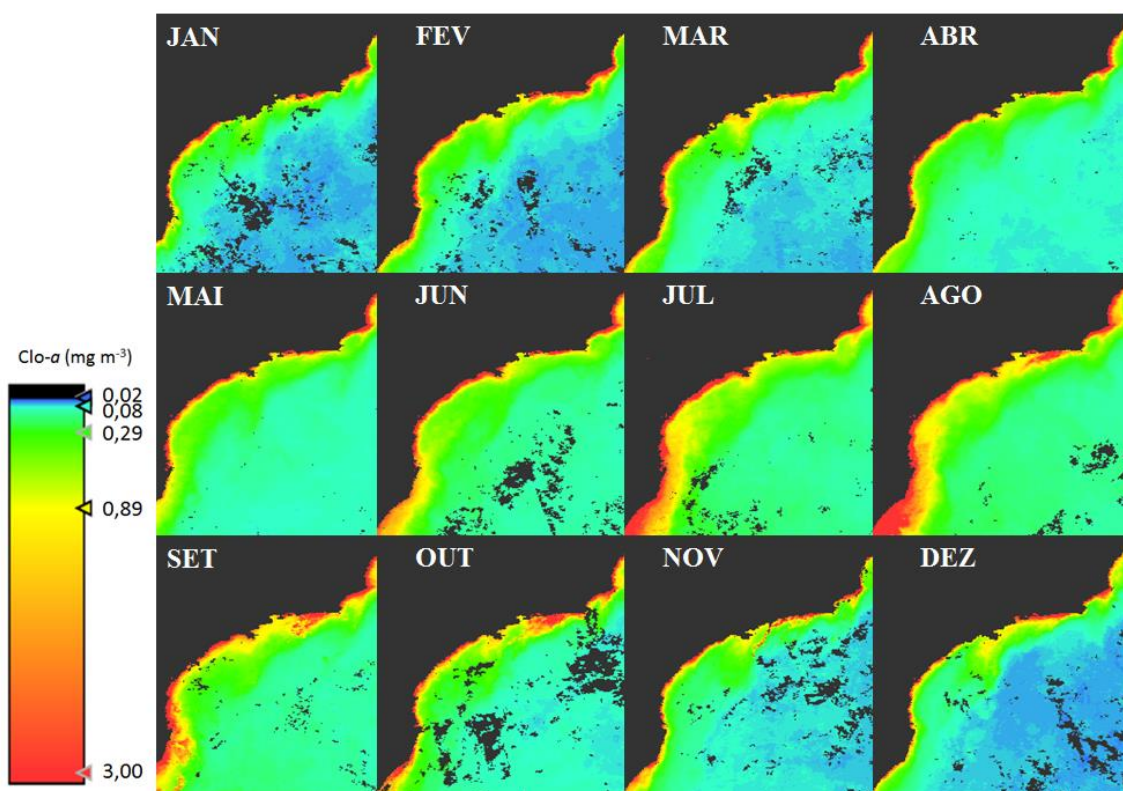


Figura 3: Médias mensais "climatológicas" de concentração de clorofila na superfície do mar para a região da Bacia de Santos e adjacências.

Na Plataforma Norte (PN) observam-se as maiores médias anuais de clorofila-*a* na primavera e as menores no outono, sendo respectivamente $0,732 \text{ mg m}^{-3}$ e $0,290 \text{ mg m}^{-3}$. Esta região é, também, o local com os maiores valores de biomassa fitoplanctônica, maiores que $3,00 \text{ mg m}^{-3}$, geralmente associados ao aporte continental ou à ressuspensão de nutrientes provenientes da ressurgência de Cabo Frio. A Plataforma Sul (PS) também apresenta valores altos de clorofila-*a* (Tabela 1), porém o tempo de resposta do potencial fitoplanctônico é antecipado em relação à PN (Figura 4). O pico de biomassa fitoplanctônica na PS ocorre no final do inverno (julho, agosto) enquanto na PN ocorre no meio da primavera (setembro, outubro).

Na região oceânica, a biomassa fitoplanctônica começa a crescer em abril, com máximos médios nos meses de julho ($0,152 \text{ mg m}^{-3}$) na região Oceano Norte (ON) e agosto ($0,166 \text{ mg m}^{-3}$) na região Oceano Sul (OS). A partir de outubro a biomassa decresce em ambas as regiões até níveis mínimos de $0,031 \text{ mg m}^{-3}$ no verão.

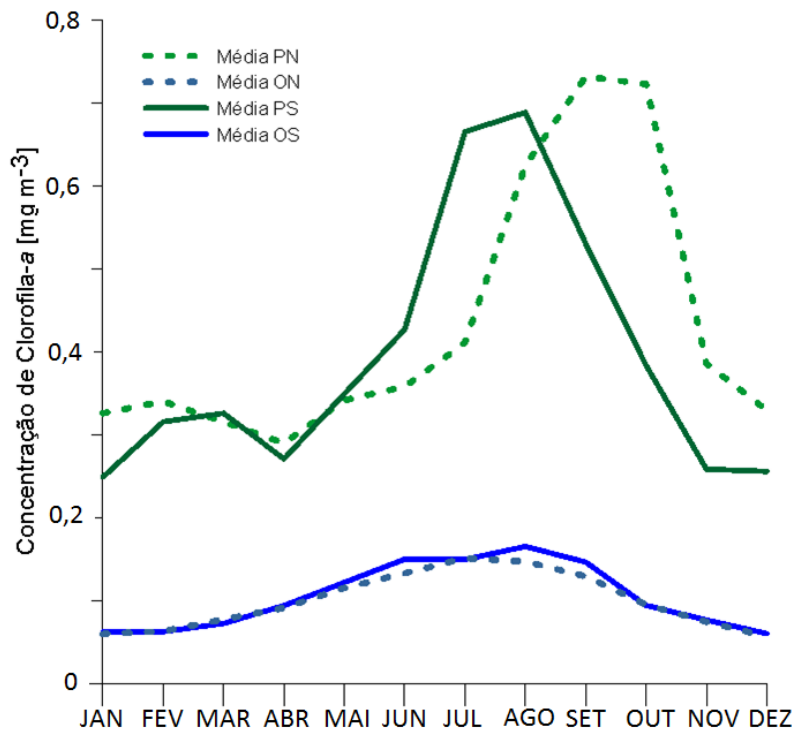


Figura 4: Média mensal climatológica de clorofila-a nas quatro regiões definidas da Baía de Santos.

Tabela 1: Valores médios mensais e estatísticos de clorofila-a ao longo do período compreendido entre jan/2011 e dez/2013.

		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Oceano Sul (OS)	MINIMO	0.039	0.041	0.052	0.074	0.088	0.094	0.115	0.131	0.114	0.064	0.052	0.045
	MAXIMO	0.107	0.118	0.247	0.132	0.169	0.282	0.272	0.234	0.232	0.155	0.101	0.131
	MEDIA	0.063	0.063	0.073	0.095	0.122	0.150	0.150	0.166	0.147	0.095	0.077	0.061
	DESVIO	0.009	0.010	0.010	0.011	0.014	0.021	0.014	0.013	0.012	0.011	0.007	0.009
Plataforma Norte (PN)	MINIMO	0.080	0.083	0.098	0.102	0.117	0.146	0.174	0.179	0.153	0.109	0.062	0.058
	MAXIMO	6.679	3.001	2.661	0.851	1.089	1.033	1.040	5.251	4.733	6.331	8.668	2.672
	MEDIA	0.326	0.341	0.316	0.290	0.342	0.358	0.411	0.625	0.732	0.723	0.386	0.330
	DESVIO	0.393	0.306	0.266	0.140	0.162	0.176	0.172	0.636	0.663	0.906	0.657	0.331
Oceano Norte (ON)	MINIMO	0.031	0.045	0.057	0.070	0.090	0.105	0.125	0.111	0.101	0.066	0.056	0.038
	MAXIMO	0.093	0.111	0.110	0.132	0.194	0.182	0.184	0.192	0.344	0.143	0.110	0.084
	MEDIA	0.060	0.064	0.078	0.092	0.116	0.133	0.152	0.148	0.130	0.096	0.075	0.057
	DESVIO	0.008	0.009	0.007	0.008	0.012	0.011	0.011	0.013	0.019	0.011	0.006	0.006
Plataforma Sul (PS)	MINIMO	0.072	0.070	0.100	0.107	0.129	0.188	0.230	0.202	0.173	0.117	0.100	0.081
	MAXIMO	1.917	1.466	2.269	1.367	1.509	3.215	4.606	2.731	3.744	2.442	6.445	1.283
	MEDIA	0.249	0.316	0.326	0.271	0.350	0.427	0.665	0.689	0.531	0.384	0.259	0.256
	DESVIO	0.163	0.175	0.227	0.136	0.154	0.192	0.370	0.374	0.386	0.243	0.177	0.183

3.2. Comparação dos Produtos ZEU e PCM

3.2.1. ZEU

A zona eufótica foi avaliada de acordo com os modelos propostos por Lee et al., (2007), chamado a partir de agora de ZEU_{Lee} , e por Morel et. al., (2007), chamado de ZEU_{Morel} , apresentados nas Figuras 5 e 6.

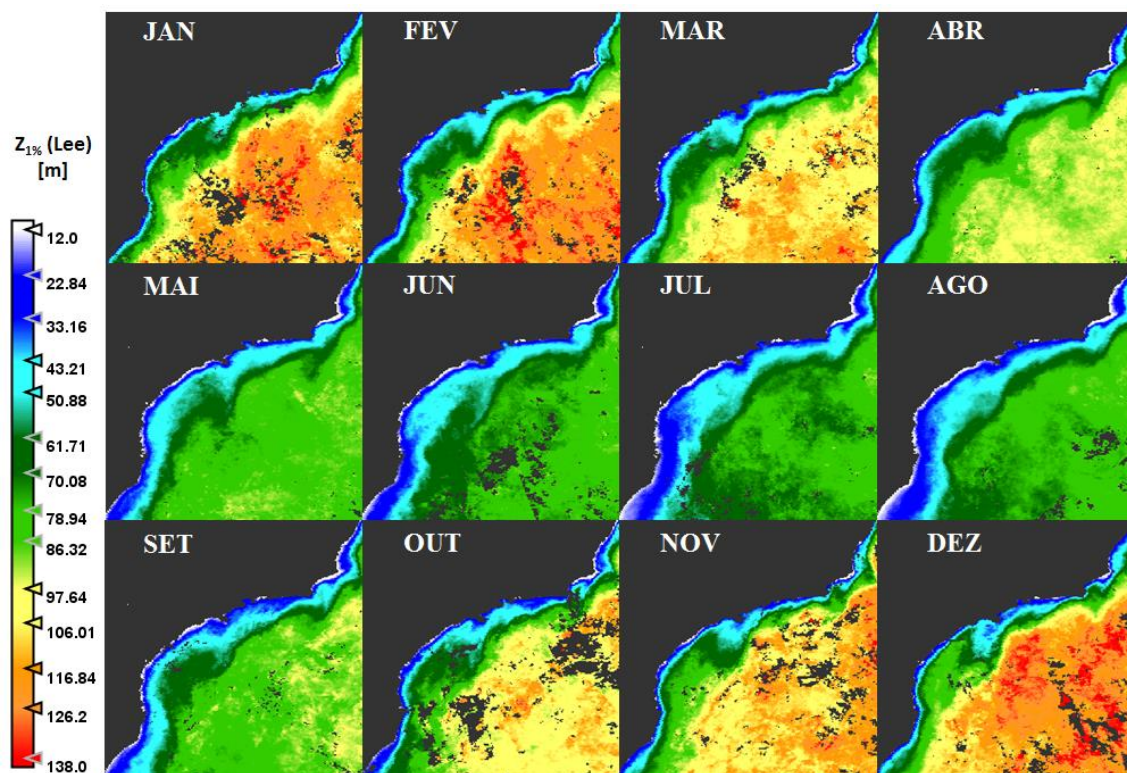


Figura 5: Zona eufótica estimada pelo modelo ZEU_{Lee} .

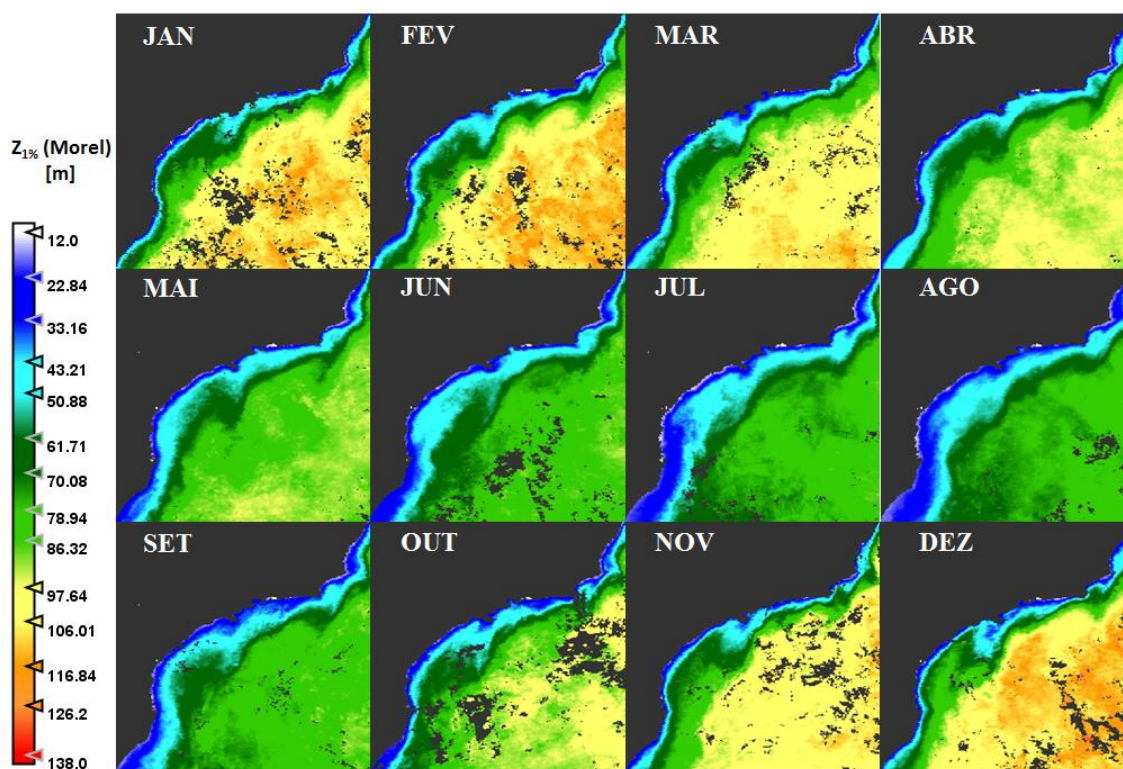


Figura 6: Zona eufótica estimada pelo modelo ZEU_{Morel} .

Os valores do modelo ZEU_{Lee} e ZEU_{Morel} foram máximos na região oceânica norte e sul durante o verão (138 e 118 metros, respectivamente). Na média anual a ZEU_{Lee} apresentou profundidades maiores que a ZEU_{Morel} , com diferenças de até 10,0 metros nas estimativas para as regiões ON e OS, e apresentou profundidades menores na PN e PS de até 5,0 metros a menos de profundidade da zona eufótica (Figura 7).

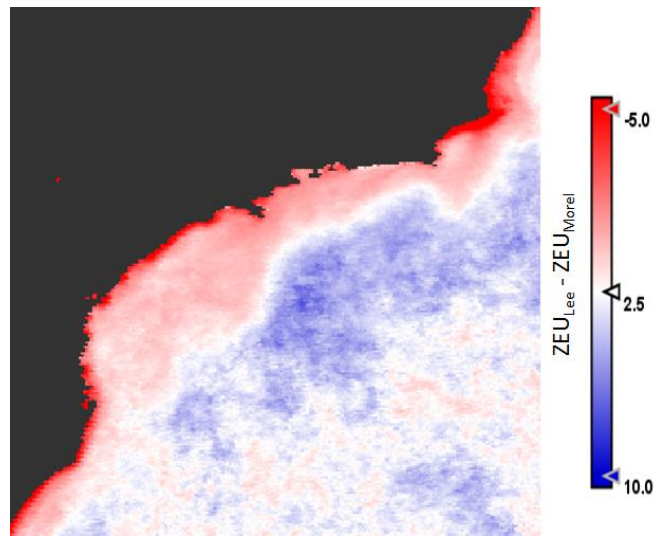


Figura 7: Diferença entre as profundidades da zona eufótica estimadas pelo modelo de Lee et. al., (2007) e Morel et. al., (2007). Regiões em azul a ZEU_{Lee} é maior que a ZEU_{Morel} . Regiões em vermelho a ZEU_{Lee} é menor que a ZEU_{Morel} .

3.2.2. Profundidade da Camada de Mistura

A variação espacial e temporal anual da profundidade da camada de mistura na Bacia de Santos é mostrada nas Figuras 8 e 9, respectivamente para as análises utilizando dados FNMOC e HYCOM.

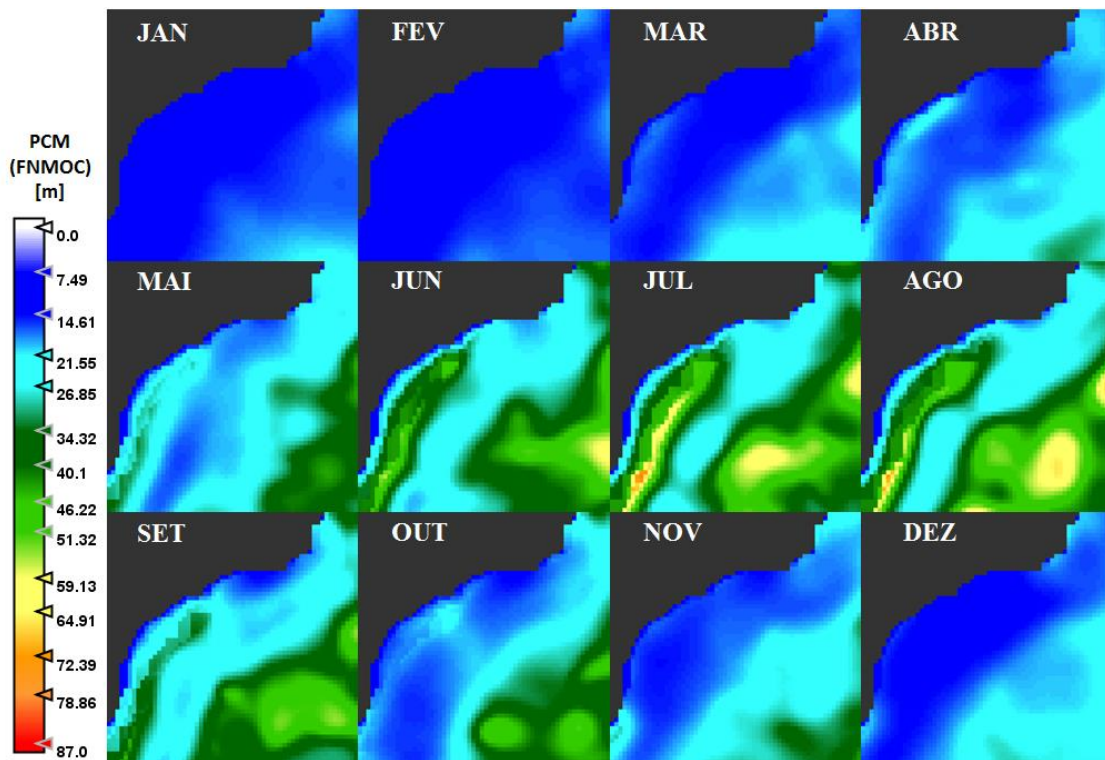


Figura 8: Profundidade da camada de mistura estimada pelo modelo FNMOC.

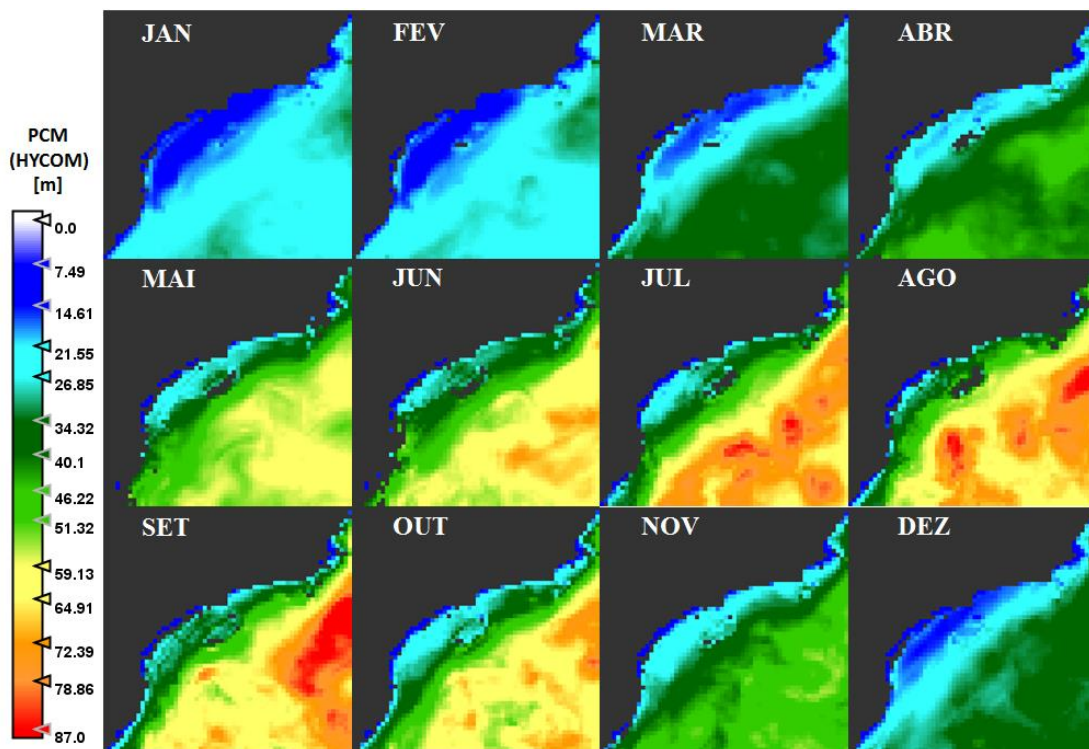


Figura 9: Profundidade da camada de mistura estimada pelo modelo HYCOM.

De maneira geral, os modelos de PCM apresentam uma variação espacial e temporal muito discrepante entre si.

A PN no modelo FNMOC é menos profunda e não ultrapassa 15 metros. No modelo HYCOM a PCM, nesta mesma região, alcança a profundidade de até 40 metros nos meses de maio a outubro. Santos (2011) observou nesta região momentos de inverno com camadas de mistura de 35 a 40 metros conforme os dados do HYCOM. A PS no modelo HYCOM sofre um processo de influência do aumento da camada de mistura no OS, que não é observado pelo FNMOC. Porém a PCM pelo modelo FNMOC distingue a chegada da pluma do rio La Plata na costa sul da Bacia de Santos.

Kampel (2003) analisou dados *in situ* coletados durante o projeto DEPROAS, nas regiões de plataforma e talude do Rio de Janeiro e litoral norte de São Paulo. Na plataforma, a profundidade média da zona eufótica foi de 40,0 m no verão e 39,0 m no inverno. No talude, os valores médios de ZEU no verão e no inverno foram 64,0 m e 63,0 m, respectivamente. No verão a profundidade da camada de mistura foi estimada em 16,0 m na plataforma e 37,0 m no talude. No inverno, as profundidades estimadas na plataforma e no talude foram 40,0 m e 60,0 m, respectivamente.

4. Conclusões

A maior riqueza planctônica ocorre na zona costeira da região. A ACAS, quando atinge a superfície, tem pouco fitoplâncton, mas logo os nutrientes e a luz proporcionam o desenvolvimento desses organismos.

Na região de oceano aberto, a profundidade da camada eufótica é maior, mas os nutrientes estão disponíveis em massas de água mais profundas e frias, posicionadas a 200-300 m de profundidade na região. Dessa forma, ao longo do verão a estratificação da coluna d'água e a indisponibilidade de nutrientes onde a luz penetra diminui o potencial de produção primária e, conseqüentemente, a biomassa fitoplanctônica. Ao longo do inverno e meses mais frios, a queda na temperatura e os eventos mais extremos disponibilizam os nutrientes do fundo para regiões mais superficiais, onde a

camada eufótica favorece o aumento da biomassa fitoplanctônica. Esses eventos de mistura estão relacionados ao aumento da profundidade da camada de mistura.

Cabe questionar se as estimativas de CSM por satélite são confiáveis na área de interesse. Trabalhos anteriores realizaram comparações com medidas *in situ*.

Segundo estudos realizados por outros autores (Brandini, 1990; Aidar et al., 1993; Gaeta, 1999; Kampel, 2003), a biomassa fitoplanctônica na superfície em termos de clorofila-*a* é comparativamente maior no inverno do que no verão. Porém, este efeito só pode ocorrer quando a área oceânica, oligotrófica no inverno, por meio da PCM recebe nutrientes suficientes provenientes de processos de convergência de massas de água.

Apesar das diferenças de magnitude entre os valores de clorofila na plataforma e no talude, as respectivas séries temporais apresentam evidente sazonalidade e correlação, isto é, variam em fase. De modo geral, os valores de CSM são mais altos na região de plataforma, como esperado.

Trabalhos anteriores sugeriram uma influência da pluma do rio de La Plata sobre a plataforma continental, com o aporte de nutrientes e o incremento na biomassa fitoplanctônica durante o inverno (Piola et al., 2008; Moller et al., 2008). Entretanto, esta influência pode apresentar variabilidade na PCM observada somente pelo modelo FNMOC de relativa importância no potencial fitoplanctônico. Portanto, a escolha correta do modelo de PCM na região da Plataforma Sul deve ser vista com mais detalhe. De uma forma geral, os valores estimados pelo HYCOM para a região oceânica e plataforma parecem correlacionarem melhor com valores de campo.

As concentrações de clorofila-*a* na plataforma são variáveis e aparentemente independentes da estação do ano (Gaeta, 1999). Estão relacionadas com mudanças locais no vento, principalmente na região norte da plataforma sudeste próximo a Cabo Frio. Conforme avançamos à plataforma externa e oceano aberto observamos a profundidade da camada de mistura ponderando o crescimento da biomassa do fitoplancton.

Nos meses de inverno a ZEU_{Lee} diminuiu e alcançou valores inferiores que os observados pela ZEU_{Morel} . Isso pode estar relacionado ao fato da presença do rio La Plata na plataforma e região adjacente em oceano aberto que disponibiliza maiores concentrações de constituintes ópticos utilizados no modelo ZEU_{Lee} . Também, por este

motivo das variáveis utilizadas nos modelos, em águas oligotróficas o ZEU_{Lee} estima profundidades eufóticas além das observadas em trabalhos com medidas *in situ*.

As variações mensais da ZEU são similares na plataforma e no talude. A mesma similaridade entre plataforma e talude também ocorre inversamente na variabilidade da PCM. Analisando conjuntamente com a variação anual média da CSM, percebe-se uma associação entre o período de máxima clorofila com o aprofundamento da camada de mistura, ao mesmo tempo em que se observa uma diminuição da profundidade da zona eufótica.

As análises de PCM e Zeu são o início de uma tentativa de alcançar um desafio maior na oceanografia biológica que consiste em tentar compreender a estrutura e o funcionamento do ecossistema marinho no espaço tridimensional do meio aquático. Dessa forma acrescentar à modelos de cor do oceano uma componente bio-física.

5. Perspectivas Futuras

Este trabalho foi uma introdução ao tema com o uso de alguns processamentos de banco de dados. Seus resultados serão mais consistentes quando possível avaliar dados *in situ* com as estimativas orbitais. Com o aumento da série de dados poderá se aperfeiçoar as técnicas de avaliação e acrescentar novos produtos “secundários” desta teoria que são a temperatura da superfície do mar e a radiação fotossinteticamente ativa. Poder refinar as malhas e melhorar a resolução espacial dos dados de PCM, juntamente com a intrusão de valores em locais onde há vazios na imagem.

6. Referências Bibliográficas

- AIDAR, E.; GAETA, S. A.; GIANESELLA-GALVÃO, S. M. F.; KUTNER, M. B. B.; TEIXEIRA, C. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP. 1993. **Publicação Esp. Inst. Oceanogr., S Paulo.** v.10, p.9-43.
- 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). 1990. **Hydrobiologia.** v.196, p.111-148.

- CASTRO, B. D.; LORENZZETTI, J. A.; SILVEIRA, I. D.; MIRANDA, L. D. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). 2006. In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. D. B.; MADUREIRA, L. (eds.), O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil, p.11-120, **São Paulo, EDUSP**, 466p.
- CLANCY, R. M.; SADLER, W. D. The Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center suite of oceanographic models and products. 1992. **Weather and Forecasting**. v.7, p.307-27.
- GAETA, S. A. Produção primária na região oeste do Atlântico Sul. 1999. **Tese de Livre Docência**. Instituto Oceanográfico. São Paulo, Univ. São Paulo. 140p.
- GAETA, S. A.; BRANDINI, F. P. 2006. Produção primária do fitoplâncton marinho na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. B.; MADUREIRA, L. S.P. (org.), O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil, p.219-264, São Paulo, EDUSP, p.465.
- HENSON, S. A.; ROBINSON, I.; ALLEN, J. T.; WANIEK, J. Effect of meteorological conditions on interannual variability in timing and magnitude of the spring bloom in the Irminger Basin, North Atlantic. 2006. **Deep-Sea Research**. v.53, p.1601-1615.
- HENSON, S. A.; DUNNE, J. P.; SARMIENTO, J. L. Decadal variability in North Atlantic phytoplankton blooms. 2009. **J. Geophys. Res.**, v.114, C04013.
- Kampel, M. 2002. Sensoriamento remoto aplicado à oceanografia. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/vcsr/files/capitulo_6.pdf> Acesso em: 10 de junho de 2012.
- 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. 2003. **Tese de Doutorado do Instituto Oceanográfico**, Universidade de São Paulo, p.311.
- KIRK, J. T. O. Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems. 1994. **Cambridge Univ. Press**, New York.
- KOEVE, W. Wintertime nutrients in the North Atlantic – New approaches and implications for new production estimates. 2001. **Mar. Chem.**, v.74, p.245-260.
- LEE, Z.; WEIDEMANN, A.; KINDLE, J.; ARMONE, R.; CARDER, K. L.; DAVIS, C. Euphotic zone depth: Its derivation and implication to ocean-color remote sensing. 2007. **J. Geophys. Res.** v.112, C03009.
- LUTZ, M. J.; CALDEIRA, K.; DUNBAR, R.B.; BEHRENFELD, M. J. Seasonal rhythms of net primary production and particulate organic carbon flux to depth describe the efficiency of biological pump in the global ocean. 2007. **J. Geophys. Res.**, v.112, C10011.
- MOLLER, O. O.; PIOLA, A. R.; FREITAS, A. C., CAMPOS, E. J. D. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. 2008. **Continental Shelf Research**. v.28, n.13, p.1607-1624.
- MOREL, A.; HUOT, Y.; GENTILI, B.; WERDELL, P. J.; HOOKER, S. B.; FRANZ, B. A. Examining the consistency of products derived from various ocean color sensors in open ocean (Case 1) waters in the perspective of a multi-sensor approach. 2007. **Remote Sensing of Environment**, v.111(1), p.69-88.

- O'REILLY, 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.; CARDER, K. L.; HARDING, L.; MAGNUSON, A.; PHINNEY, D.; CULVER, M. SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part3, v.11. 2000. **NASA Technical Memorandum-SeaWiFS Postlaunch Technical Report Series**, p.1–49.
- PIOLA, A. R.; ROMERO, S. I.; ZAJACZKOVSKI, U. Space-time variability of the Plata plume inferred from ocean color. 2008. **Continental Shelf Research**. v.28, n.13, p.1556-1567.
- PLATT, T.; FUENTES-YACO, C.; FRANK, K. T. Spring algal bloom and larval fish survival. 2003. **Nature**, v.423, p.398-399.
- SANTOS, J. F. C. Análise da reflectância marinha na região costeira de Ubatuba, litoral norte de São Paulo. 2011. **Relatório de Iniciação Científica CNPQ/PIBIQ – INPE**.