



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-14935-PRE/9847

**VARIABILIDADE DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA NA REGIÃO
COSTEIRA DE UBATUBA, LITORAL NORTE DE SÃO PAULO.**

Renata Fernandes Figueira Nascimento

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado
pelo
Dr. Milton Kampel

INPE
São José dos Campos
2007



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

VARIABILIDADE DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA NA REGIÃO COSTEIRA DE UBATUBA, LITORAL NORTE DE SÃO PAULO.

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)

Bolsista – Renata Fernandes Figueira Nascimento (UNESP,
Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: re_ffnascimento@yahoo.com.br

Orientador - Dr. Milton Kampel (DSR/INPE)

E-mail: milton@dsr.inpe.br

Julho de 2007

RESUMO

VARIABILIDADE DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA NA REGIÃO COSTEIRA DE UBATUBA, LITORAL NORTE DE SÃO PAULO.

O fitoplâncton, base da cadeia alimentar, possui a clorofila como pigmento, que é usada na fotossíntese, onde a luz solar é a fonte de energia para a fusão de moléculas de água e dióxido de carbono, formando carboidratos. A clorofila absorve os comprimentos de onda azul e verde da luz solar, enquanto a água os dispersa. Uma simples medida de satélite da proporção de luz azul-verde saindo do oceano é um caminho para quantificar a abundância do fitoplâncton na região a ser estudada. Por tanto, análises usando o sensoriamento remoto auxiliam em pesquisa com amostras *in situ*. Este trabalho teve como principal objetivo à análise da variabilidade da biomassa fitoplanctônica em função de variáveis ambientais e imagens de satélites, na região costeira de Ubatuba, litoral norte de São Paulo. Para isso, foi necessário quantificar a biomassa fitoplanctônica, analisar a influência de variáveis oceanográficas e meteorológicas e analisar integradamente estes dados através de correlações estatísticas e regressão múltipla. Estas análises mostraram uma relação linear entre a clorofila-*a* integrada e três variáveis ambientais: temperatura da superfície do mar, profundidade da zona eufótica e clorofila-*a* da camada superficial, sendo a segunda com maior influência. A série temporal mensal de dados *in situ* é uma contribuição do Instituto Oceanográfico da USP (Universidade de São Paulo) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais à rede de observações ANTARES, sendo que este trabalho abrange coletas de dezembro de 2004 a janeiro de 2006. Imagens de satélite da cor do oceano e do infravermelho termal do sensor MODIS instalado a bordo do satélite AQUA da NASA (National Aeronautics and Space Administration), adquiridas nesse mesmo período, foram processadas digitalmente com o uso do programa SeaDAS, de modo a fornecer informações sobre os campos de concentração de clorofila e temperatura da superfície do mar. Análises estatísticas mostraram que os dados *in situ* e os de satélite apresentam boa correlação.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, concentração de clorofila, temperatura da superfície do mar, Ubatuba.

ABSTRACT

CHLOROPHYLL CONCENTRATION VARIABILITY IN UBATUBA REGION, NORTHERN LITORAL OF THE STATE OF SÃO PAULO STATE.

The phytoplankton is the basis of the marine food chain and contains the pigment chlorophyll which is used for photosynthesis. During this process, the sunlight is used as an energy source to fuse water molecules and carbon dioxide into carbohydrates. The pigment chlorophyll absorbs the blue and green wavelengths of sunlight, whereas water scatters them. A simple satellite measurement of the blue-green light ratio leaving the ocean is a way to quantify the chlorophyll concentration, and the phytoplankton abundance in the study area. Ocean color remote sensing is a powerful method to complement *in situ* studies. This scientific work analyses the phytoplankton biomass variability based on environmental variables in Ubatuba, a coastal zone of the state of Sao Paulo and compare it with MODIS/AQUA satellite estimates. The *in situ* time-series is a Brazilian contribution of the Oceanographic Institute of the University of Sao Paulo and the National Institute of Space Research to the Antares net of observations. This work consider the samples collected from December 2004 to January 2006. The *in situ* chlorophyll and sea surface temperature data were compared to the satellite estimates, showing a significant statistical correlation. Meteorological and climate variables were also analyzed during the same period. A multiple regression analysis showed linear relation between the water column integrated chlorophyll and the euphotic depth, sea surface temperature and sea surface chlorophyll concentration.

Key words: remote sensing, chlorophyll concentration, sea surface temperature, Ubatuba.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1. INTRODUÇÃO	8
1.2. ASPECTOS GERAIS	8
1.2. ÁREA DE ESTUDO	16
1.3. OBJETIVOS	17
2. MATERIAL E MÉTODOS	19
2.1. MEDIDAS <i>IN SITU</i>	19
2.2. SENSORIAMENTO REMOTO.....	20
2.3. INFLUÊNCIA DAS MASSAS DE ÁGUA E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1. IMAGENS	23
3.2. SÉRIES TEMPORAIS	25
3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA	28
3.4. COMPARAÇÃO ENTRE DADOS <i>IN SITU</i> E DADOS DE SATÉLITE	28
3.5. ANÁLISE CLIMÁTICA E METEOROLÓGICA	31
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – IMAGENS DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR (°C) REFERENTES AOS MESES DE JANEIRO (ESQUERDA EM CIMA), MAIO (DIREITA EM CIMA), AGOSTO (ESQUERDA EMBAIXO) E NOVEMBRO (DIREITA EMBAIXO) DE 2005.	23
FIGURA 3.2 – IMAGENS DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA DA CAMADA SUPERFICIAL DO MAR (MGM ⁻³) REFERENTES AOS MESES DE FEVEREIRO (ESQUERDA EM CIMA), MAIO (DIREITA EM CIMA), AGOSTO (ESQUERDA EMBAIXO) E NOVEMBRO (DIREITA EMBAIXO) DE 2005.....	24
FIGURA 3.3 – SÉRIE TEMPORAL DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR OBTIDA ATRAVÉS DE IMAGENS MODIS. TAMBÉM ESTÃO DESTACADAS AS AMOSTRAGENS <i>IN SITU</i> (VERMELHO).....	26
FIGURA 3.4 – SÉRIE TEMPORAL DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA DA CAMADA SUPERFICIAL DO MAR OBTIDA ATRAVÉS DE IMAGENS MODIS. DESTACADAS EM VERMELHO ESTÃO AS AMOSTRAGENS <i>IN SITU</i>	27
FIGURA 3.9 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS TEMPERATURAS OBTIDAS POR SATÉLITE <i>VERSUS</i> A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR MEDIDA <i>IN SITU</i>	30
FIGURA 3.11 – DIAGRAMA DE DISPERSÃO DAS CLOROFILAS OBTIDAS POR SATÉLITE <i>VERSUS</i> A CLOROFILA DA CAMADA SUPERFICIAL DO MAR MEDIDA <i>IN SITU</i>	31

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – DATAS DAS COLETAS	20
TABELA 3.5 - PORCENTAGEM (%) DE EXPLICAÇÃO DE CADA VARIÁVEL NO MODELO.	28
TABELA 3.6 - VARIÂNCIA (%) OBTIDA, PELOS VALORES DE R^2 , A CADA ADIÇÃO DE UMA NOVA VARIÁVEL.....	28
TABELA 3.7 - VARIÂNCIA (%) EXPLICADA POR CADA VARIÁVEL.	28
TABELA 3.8 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE AS TEMPERATURAS <i>IN SITU</i> E AS OBTIDAS POR SATÉLITE	29
TABELA 3.10 – ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR ENTRE A CLOROFILA <i>IN SITU</i> E A OBTIDA POR SATÉLITE (LOG - TRANSFORMADA; N=10).....	30
TABELA 3.12 - SEÇÕES ESTAÇÃO VERSUS TEMPO DOS SISTEMAS FRONTAIS QUE PENETRARAM NO BRASIL NO PERÍODO ESTUDADO. AS LINHAS INDICAM QUE A FRENTE PASSOU PELA ESTAÇÃO ENTRE 09H00MIN (HL) DO DIA ANTERIOR E ÀS 09H00MIN (HL) DO DIA INDICADÓ. (FONTES: 7. DISME E CPTEC).....	38

1. Introdução

1.2. Aspectos gerais

A região costeira tem grande importância, pois, além de ser a região com maior concentração de pessoas, permite a comunicação de um país com o resto do mundo, possibilitando assim o seu desenvolvimento. Além disso, proporciona o sustento de muitas pessoas, através da pesca e da extração de outros organismos marinhos, sendo assim importante o gerenciamento desses recursos.

Apesar de sua importância, a região costeira é muito afetada pela atividade humana. Vários tipos de organismos vivos são sensíveis a essas atividades, entre eles o fitoplâncton. Esses organismos precisam de determinadas condições ambientais para se desenvolver, tornando-os bons indicadores de mudanças no ambiente. Grandes populações de fitoplâncton, sustentadas por um longo período de tempo, podem diminuir significativamente o nível de dióxido de carbono (CO_2), importante gás do efeito estufa, na atmosfera, pois precisam dele para realizar fotossíntese. O fitoplâncton é o principal produtor primário dos oceanos, representado por um conjunto de microalgas unicelulares (raras são filamentosas) que se desenvolve na zona eufótica. A atividade fotossintética do fitoplâncton é o primeiro passo na fixação do carbônico inorgânico em carbono orgânico particulado no ambiente pelágico marinho (Lalli & Parsons, 1993). Os organismos fitoplanctônicos usam a energia solar para quebrar moléculas de água em átomos de hidrogênio e oxigênio. Esse último é liberado, possibilitando a vida na Terra.

O ciclo do carbono é criticamente dependente da produção primária líquida, definida como a quantidade de carbono fixado fotossinteticamente (conversão em matéria orgânica) e disponível para níveis tróficos superiores (Falkowski et al., 1998), sendo, portanto, dependente de organismos fotossintéticos. O fitoplâncton faz a ligação entre a energia solar e a produção de recursos biológicos do qual dependem todos os outros níveis tróficos (Clark e Shuman, 1986).

Mudanças na comunidade planctônica ocasionam profundas modificações estruturais em todos os níveis tróficos do ecossistema marinho. Pelo seu

caráter dinâmico, com elevadas taxas de reprodução e perda, a comunidade planctônica responde rapidamente às alterações físico-químicas do meio aquático. As variações no regime meteorológico, as características geomorfológicas regionais e os impactos antropogênicos nas áreas costeiras, estabelecem, em conjunto, o regime hidrográfico particular de cada região e, conseqüentemente, as características taxonômicas e a dinâmica espaço-temporal de suas comunidades planctônicas (Brandini et al., 1997).

Organismos fitoplanctônicos possuem clorofila como pigmento. A habilidade dos satélites de identificá-los se baseia no fato de que a fotossíntese só acontece na presença de clorofila. Esse pigmento absorve os comprimentos de onda azul e verde, enquanto a água os dispersa. Uma simples medida de satélite da proporção de luz azul-verde saindo do oceano é mais um caminho para quantificar a abundância de fitoplâncton em termos da concentração de clorofila. A absorção seletiva dos comprimentos de onda nas faixas do azul e verde do espectro eletromagnético pelos pigmentos fotossintéticos (principalmente pela clorofila-*a*), possibilita a quantificação da biomassa fitoplanctônica oceânica através de medidas da cor do oceano obtidas por satélite (Morel e Prieur, 1977; Gordon e Morel, 1983). Novas observações por satélite, e extensivos projetos de pesquisa oceanográfica estão finalmente revelando o quanto esses organismos são sensíveis a mudanças globais de temperatura, circulação oceânica e disponibilidade de nutrientes (Lorenzzetti, 1994).

Uma limitação de dados adquiridos por cruzeiros oceânicos para determinar a distribuição do fitoplâncton sobre uma grande área é que a cobertura espacial por dia é relativamente pequena. Quando o período estudado se prolongar por várias semanas ou mais em uma área fisicamente dinâmica, pode haver erro considerável na tentativa de descrever a distribuição sinóptica de clorofila-*a*. Isso pode ser superado com o uso de dados de satélite, já que fornecem informação sinóptica da distribuição de clorofila-*a* sobre uma área inteira de estudo (Holm-Hansen *et al.*, 2004). A utilização de algoritmos desenvolvidos para dados orbitais de cor do oceano permite a comparação dos

produtos derivados (concentração de clorofila, radiâncias e produção primária) através de medidas *in situ* (Lorenzzetti, 1994).

Há uma necessidade da aplicação de métodos estatísticos para análise das imagens e eliminação de ruídos presentes nas imagens. Portanto, é importante e necessária a aquisição de dados de campo para um correto uso e análise de dados de sensoriamento remoto, seja ele a nível orbital ou através de aeronaves. A fim de preencher esta lacuna, Inostroza e Maluf (1978) publicaram um Atlas de estruturas oceanográficas da Costa Sudeste do Brasil para servir de apoio a estudos de Sensoriamento Remoto desta região. A região abrangida por este Atlas vai de 22° S, desde o Cabo de São Tomé (RJ), até 26°30' S em Itajaí (SC) (Lorenzzetti, 1994).

A técnica de sensoriamento remoto orbital aplicada à oceanografia não dispensa a necessidade de coleta de dados oceanográficos através dos meios convencionais. Entretanto, é hoje consenso internacional entre os cientistas, engenheiros e técnicos que trabalham na área, que esta técnica é fundamental para a obtenção de dados com características sinóticas, abrangendo grandes regiões oceânicas, e com grande repetitividade temporal. Um sistema para o monitoramento e estudo das condições oceânicas deve contar, sem dúvida, com dados de sensoriamento remoto complementados por sistemas ancorados de coleta e telemetria de dados (Lorenzzetti, 1994).

O sensoriamento remoto da cor da água é realizado com o uso de sistemas sensores passivos. Estes sistemas empregam sensores com campo de visada estreito, capazes de monitorar o fluxo radiométrico que chega aos seus detectores em diferentes comprimentos de onda, nas faixas do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Os sensores remotos podem ser instalados em satélites, aeronaves, ou qualquer outra plataforma remota. Os sensores passivos operam durante o dia, e sua fonte de energia é o próprio Sol, cujos fótons podem seguir caminhos diferentes antes de alcançarem o detector remoto (Kampel e Novo, 2005).

O sinal detectado remotamente é formado pelas seguintes contribuições: a luz espalhada pela atmosfera; a luz refletida specularmente pela superfície do corpo de água; e a luz emergente da superfície da água, após ter sido

retroespalhada no interior do corpo de água (IOCCG, 2000). Somente a luz emergente da água contém informações úteis sobre o corpo d'água (Kampel e Novo, 2005).

O objetivo do sensoriamento remoto da cor da água é obter informações quantitativas sobre os tipos e concentrações de substâncias presentes em um corpo de água, com base em variações na forma espectral e na intensidade do sinal remoto na faixa do visível (Kampel e Novo, 2005).

O primeiro, de todos os sensores orbitais da cor da água, o *Coastal Zone Color Scanner* (CZCS, 1978-1986), deu origem a uma série de instrumentos cada vez mais sofisticados: *Moderate Optoelectrical Scanner* (MOS); *Ocean Colour and Temperature Scanner* (OCTS); *POLarization and Directionality of the Earth's Reflectances* (POLDER); *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS); *Multi-angle Imaging SpectroRadiometer* (MISR); *Ocean Colour Monitor* (OCM); *Global Imager* (GLI); *Ocean Color Imager* (OCI); *Ocean Scanning Multispectral Imager* (OSMI) e *MEdium Resolution Imaging Spectrometer* (MERIS), lançados a partir de 1996 (Kampel e Novo, 2005).

Os algoritmos básicos utilizados com dados da cor da água fornecem estimativas das concentrações de pigmentos fitoplanctônicos, sedimentos em suspensão, substâncias amarelas e coeficientes de atenuação da luz em corpos de água profundos (Kampel e Novo, 2005). A caracterização temporal e espacial da biomassa fitoplanctônica e produtividade primária tem sido um tópico de grande interesse da oceanografia há algumas décadas, já que a principal base trófica nos oceanos é formada pelos processos fotossintéticos realizados pelo fitoplâncton marinho (Kampel, 2003).

Diversos esforços para determinar a produtividade primária marinha têm sido feitos pela comunidade oceanográfica enfatizados por programas internacionais tais como *International Geosphere Biosphere Program* (IGBP) e um de seus componentes, o *Joint Global Ocean Flux Study* (JGOFS) (JGOFS, 1988).

Rotineiramente, os dados da cor da água obtidos por satélites são empregados para estimar as concentrações de clorofila na superfície do mar. Com base em imagens da concentração superficial de pigmentos, como a

clorofila, é possível observar sinopticamente feições biológicas de sistemas dinâmicos como os grandes giros subtropicais, frentes oceânicas, ressurgências e vórtices de mesoescala (Monger et al., 1997; Ryan et al., 2001; Kampel, 2003; Garcia et al., 2004; Gonzalez-Silveira et al., 2004; Hu et al., 2004). Além disso, a concentração deste pigmento na água possibilita estimar a abundância do fitoplâncton, porque a clorofila - a (ou variações bem próximas) está presente em todas as células do fitoplâncton. Séries temporais das estimativas de clorofila-a têm sido utilizadas amplamente para descrever as interações entre os processos físicos e biológicos nos oceanos. As aplicações práticas de estudos quantitativos da variabilidade da cor do oceano e de sua co-variação, com a penetração espectral da luz em camadas superiores, incluem estimativas de visibilidade, armazenamento e transporte de calor nos oceanos, detecção de zonas potenciais de pesca, estudos da interação oceano/atmosfera, inferência de correntes oceânicas superficiais e detecção de florações de algumas espécies de fitoplâncton (Ciotti, 2005).

A velocidade com que as concentrações de clorofila variam no tempo e/ou quanta fotossíntese está ocorrendo durante o dia é chamada de produtividade primária (primária porque é a fase inicial e crítica da teia alimentar). O conhecimento das taxas de produção primária é fundamental para o entendimento e gerenciamento de ecossistemas pelágicos e bênticos, pesca e aqüicultura, e avaliações sobre os impactos do aporte de nutrientes (eutrofização) (Kampel e Novo, 2005).

Os produtos obtidos por sensoriamento remoto devem ser vistos de maneira complementar aos dados adquiridos *in situ*, em termos da cobertura espacial e temporal. Os dados orbitais fornecem uma visão sinóptica da distribuição espacial de uma forma praticamente inalcançável por outros meios e são úteis para cobrir uma ampla gama de escalas espaciais e temporais associadas a diversas aplicações costeiras, oceânicas e limnológicas (Kampel e Novo, 2005).

As relações estreitas entre os processos físicos e a biomassa fitoplanctônica manifestam-se nas imagens de satélite da cor do oceano. Por exemplo, regiões costeiras têm sempre maior concentração de clorofila-a do

que regiões mais oceânicas, pois em geral, possuem um suprimento regular de nutrientes oriundos dos continentes. A maior limitação em estudos com imagens de satélite da cor do oceano, é a cobertura da região de estudo pelas nuvens, que pode acarretar em grandes períodos com ausência de dados. Em áreas costeiras, o problema pode ser agravado pela presença de sedimentos de aportes continentais em pulsos (Ciotti, 2005).

A organização e o funcionamento dos ecossistemas dependem, basicamente, de luz e elementos nutrientes (por exemplo, carbono, oxigênio, nitrogênio, fósforo, metais-traços e vitaminas). Nas áreas tropicais e subtropicais, o desenvolvimento da comunidade planctônica depende da disponibilidade de macronutrientes inorgânicos na zona eufótica, principalmente nitrogênio, uma vez que o regime diário de luz necessária para as reações fotossintéticas é suficiente em qualquer época do ano (Brandini et al., 1997).

No Atlântico Sul-Occidental, entre a região equatorial e a Convergência Subtropical, o estoque de nutrientes inorgânicos dissolvidos mais próximo da zona eufótica encontra-se nas camadas sub-superficiais da Água Central do Atlântico Sul (ACAS). Em nossas águas tropicais e subtropicais prevalece o sistema de produção do tipo regenerativo (Dugdale & Goering, 1967; Metzler et al., 1996), no qual o nitrogênio inorgânico, normalmente limitante em ecossistemas marinhos (Ryther & Dunstan, 1971; Vince & Valiela, 1973), está disponível sob a forma de compostos reduzidos (amônia, uréia, etc.), oriundos da excreção da comunidade planctônica e da regeneração bacteriana na coluna de água (Brandini et al., 1997).

Do ponto de vista da oceanografia física, a Região Sul (que inclui a região estudada) é com certeza a mais conhecida dentre os setores da plataforma considerada pelo REVIZEE (Programa de Avaliação do Potencial Sustentável dos Recursos Vivos da Zona Econômica Exclusiva Brasileira). Os trabalhos pioneiros de Emilsson (1959; 1961) estabeleceram a base de todas as descrições atuais sobre a estrutura oceanográfica da região sul. A circulação geral do setor norte, entre o Cabo de São Tomé e a Baía de Guanabara, foi estudada por Signorini (1978), que descreveu a ocorrência da

Água Tropical (AT) com temperaturas de 25^oC e salinidades acima de 36 ao longo de uma camada superficial de mistura de aproximadamente 100 metros, acima de termoclina permanente. Na região oceânica, essa camada ocupada pela AT torna-se mais espessa a medida que a Corrente do Brasil desloca-se para o sul/sudoeste, devido à turbulência causada por ventos da Região Sul. A AT mistura-se com a ACAS e a água costeira formando a Água de Plataforma (AP). Segundo Falkowski et al. (1998), as concentrações de clorofila e composição taxonômica de comunidades fitoplanctônicas dependem dos padrões de circulação oceânica e processos físicos de mesoescala, principalmente quando estes influenciam os fluxos de nutrientes essenciais desde camadas subsuperficiais até a zona eufótica.

Segundo Kampel (2003), do ponto de vista biológico vale ressaltar alguns processos oceanográficos em grande escala que afetam a estrutura e a dinâmica do ecossistema pelágico na plataforma da Região Sul:

- 1) As intrusões da ACAS no assoalho da plataforma durante o verão, acentuando a termoclina, como consequência da incidência constante de ventos do quadrante NE (Matsuura et al., 1986; Castro Filho et al., 1987). Devido ao efeito de Coriolis, esses ventos deslocam águas de superfície para fora da plataforma, permitindo a penetração de águas profundas da ACAS em direção à costa. Essas intrusões são responsáveis pelos máximos subsuperficiais de clorofila na base da zona eufótica em diversos setores da região sul (Brandini et al., 1989; Brandini, 1990; Aidar et al., 1993; Odebrecht & Djurfeldt, 1996).
- 2) A proximidade da Zona de Confluência Brasil/Malvinas, onde a água quente da Corrente do Brasil encontra as águas frias da Corrente das Malvinas. As mudanças climáticas sazonais causam deslocamentos latitudinais dessa zona de mistura, afetando a estrutura e a dinâmica da comunidade planctônica na plataforma e nas áreas costeiras da região sul do Brasil (Brandini, 1990);

Os fatores que favorecem a produtividade fitoplanctônica são: radiação solar, temperatura e concentrações de nitrato mais elevadas, ao passo que a turbidez decresce a produção durante períodos de turbulência e ressuspensão de

sedimentos, situação típica de ambientes rasos altamente produtivos (Abreu et al., 1994).

Na região costeira de Ubatuba, diversos estudos foram realizados a partir da década de 70 sobre a produção primária e as características fotossintéticas de populações naturais em escalas diária e sazonal (Teixeira, 1973; 1979; 1980; 1982; 1986; Perazza, 1983; Metzler, 1991; Teixeira & Gaeta, 1991; Gaeta et al., 1995). Esses trabalhos abordaram questões importantes sobre a população do fitoplâncton, tais como a dominância do nano e do picoplâncton, parâmetros da curva PI, fotoadaptação, e estudos sobre a composição e variação da biomassa em relação aos parâmetros hidrográficos. As concentrações de clorofila na superfície variam normalmente entre 1 e 2 $\mu\text{g. L}^{-1}$, caracterizando um sistema oligotrófico dominado por flagelados do nanoplâncton (Sassi, 1975; Sassi & Kutner, 1982). Teixeira (1973) fez experimentos preliminares de produção primária no verão e no inverno, observando que o crescimento fitoplanctônico é limitado pela baixa concentração de nutrientes, e sugerindo o efeito das intrusões da ACAS sobre a fertilidade das águas da região costeira. As baixas taxas de produção e biomassa (=clorofila) observadas nesse trabalho e em trabalhos posteriores (Teixeira, 1979) demonstraram as características oligotróficas do sistema, o qual é limitado por nitrogênio, conforme mostram os estudos de Teixeira & Vieira (1976). As intrusões da ACAS e seu efeito “fertilizante” foram observados por Ambrósio (1989) e confirmado nos experimentos de Saldanha (1993), através da simulação da mistura de água profunda da ACAS com água tropical de superfície, resultando no aumento da produção e da biomassa fitoplanctônica (Brandini et al., 1997).

Segundo Gaeta (1994), a região sul está sujeita ao deslocamento de dois principais centros de ação: o anticiclone tropical e o anticiclone polar. A frente fria é a zona de pressão mínima entre estas duas massas de ar. No período do fim do verão e na primavera prevalecem as frentes estacionárias, e então são observados os mais altos índices pluviométricos e fortes nebulosidades (situação pré-frontal). A temperatura é elevada e o regime de

ventos é de NW. Estas perturbações, em geral, deslocam-se em direção ao oceano (Gaeta, 1994).

Durante o inverno, a frequência das frentes frias é maior, com intervalos que variam de 4 a 15 dias. Após a passagem da frente, o vento ronda para SE e permanece soprando neste setor, desacelerando-se nos dias subsequentes. A temperatura atinge os valores mínimos com a advecção do centro do anticiclone polar. O ar frio e seco destes centros de ação revela-se estaticamente estável e de alta transparência. Nestes centros de alta pressão predomina o bom tempo. O ar frio em sua trajetória para o norte vai se aquecendo pela base, misturando-se e ganhando, após alguns dias sobre as nossas latitudes, as características do ar tropical, propiciando uma nova invasão de ar frio do sul (Gaeta, 1994).

Quanto aos ventos predominantes para a região durante o verão, prevalecem os ventos de E, devido ao predomínio das brisas marítimas na circulação geral enquanto que, durante o inverno, os ventos prevalecentes sopram do setor W (WSW a NW), sendo associados às freqüentes perturbações do tipo frente fria que atingem a costa (Gaeta, 1994).

Por definição, águas do Caso 1 são aquelas nas qual o fitoplâncton (e todo o material de origem biológica covariante com ele) é o principal agente responsável por variações nas propriedades ópticas da água. Por outro lado, as águas do Caso 2 são influenciadas não somente pelo fitoplâncton, mas também por outras substâncias opticamente ativas, que variam independentemente, as partículas inorgânicas em suspensão e notadamente as substâncias amarelas (Morel & Prieur, 1977; Gordon & Morel, 1983; Sathyendranath & Morel, 1983). A região de estudo se encaixa em águas do Caso 2.

1.2. Área de estudo

A estação de UBATUBA está localizada na Plataforma Continental Sudeste Brasileira – PCSE (23,74°S – 45,01°W), a aproximadamente 18 milhas náuticas da cidade de Ubatuba, no litoral norte do Estado de São Paulo, próxima a Ilha Vitória. Possui uma profundidade média de 45 metros e um

regime oceanográfico de transição entre águas costeiras e de plataforma continental. Segundo Castro *et al.* (1987), a parte mais interna da PCSE é ocupada principalmente pela Água Costeira (AC) com valores de temperatura da água $T > 20,0^{\circ}\text{C}$ e salinidade $S < 35,00$. Ao largo dessa faixa costeira, observa-se a presença de águas com influência da Água Tropical (AT), com valores de $T > 20,0^{\circ}\text{C}$ e $S > 36,40$, e da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) com $T < 20,0^{\circ}\text{C}$ e $S < 36,40$. Geralmente, a AT fica próxima da superfície e a ACAS próxima do fundo, principalmente no entorno da quebra de plataforma. Durante o verão, a ACAS penetra na camada profunda em direção à costa, atingindo muitas vezes a parte mais interna da plataforma continental. Durante o inverno, por outro lado, essa massa de água afasta-se em direção à quebra da plataforma continental, aumentando a largura da faixa costeira onde a AC é predominante. As massas de água presentes na região apresentam uma dinâmica dependente principalmente do vento (direção, intensidade e tempo de atuação sobre a superfície do oceano), das correntes e do relevo submarino.

A região de Ubatuba possui dois domínios com características físicas diferentes: um domínio interior e outro domínio exterior. A diferença fundamental entre um e outro é que o domínio interior provavelmente tem sua dinâmica em escala sinótica controlada pelo vento, enquanto o domínio exterior, além de sofrer a influência do vento, está sob o impacto direto da Corrente do Brasil (Zillmann, 1990).

A Ilha da Vitória está à cerca de 30 quilômetros da costa do litoral norte do Estado de São Paulo, ocupando uma área de 2,2 quilômetros quadrados e sua elevação máxima atinge 200 metros. Possui, aproximadamente, 6,5 quilômetros de perímetro, sem nenhum aporte de água doce significativo. Localiza-se, segundo Castro *et al.* (1987), dentro do domínio interno da plataforma continental, próxima a isóbata de 50 metros, onde a influência continental deve ser bastante reduzida ou nula.

1.3. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a variabilidade da biomassa fitoplanctônica em função de variáveis ambientais e imagens de

satélite na região costeira de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo (23,74°S – 45,01°W). Para alcançar este objetivo, foi necessário, quantificar a biomassa fitoplanctônica em termos da concentração de clorofila, analisar a influência de variáveis oceanográficas e meteorológicas e integrar o conjunto de dados com o uso de métodos estatísticos.

2. Material e métodos

2.1. Medidas *in situ*

Amostragens mensais foram realizadas com o apoio da embarcação Véliger II do Instituto Oceanográfico da USP (IOUSP), onde perfis verticais contínuos de hidrografia (temperatura e salinidade) foram obtidos com equipamento CTD (*Conductivity, Temperature, Depth*) e perfis verticais de temperatura e fluorescência natural do fitoplâncton foram coletados com uso dos equipamentos PNF-300 da *Biospherical Instruments*. Os dados hidrográficos foram tratados de acordo com as recomendações da UNESCO (1988). Foram coletadas amostras de água com o emprego de garrafas de Niskin nas profundidades padrão de 0, 5, 10, 25 e 40 metros. Este trabalho abrange coletas de dezembro de 2004 a janeiro de 2006 (Tabela 2.1).

Estas amostras se destinaram às determinações das concentrações de clorofila-*a* (Holm-Hansen *et al.* 1965) e de nutrientes dissolvidos (nitrato, silicato, fosfato e amônia) (Grasshof, 1983). A transparência da água também foi estimada com o uso do disco de Secchi. Esta série temporal de dados *in situ* é uma contribuição do IOUSP e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) à rede de observações ANTARES.

O principal objetivo da rede ANTARES, uma rede sul-americana criada em 2003, apoiada pelo International Ocean-Colour Coordinating Group (IOCCG) e pelo Partnership for the Observation of the Global Oceans (POGO), é o estudo das mudanças de longo período em sistemas costeiros ao redor da América do Sul de modo a distinguir a variabilidade natural de perturbações externas (efeitos antropogênicos). Para alcançar este objetivo são compartilhados entre os membros da rede e o público, em geral, dados *in situ* de estações costeiras e dados de satélites (concentração de clorofila e temperatura da superfície do mar) em torno do continente sul-americano. Essa rede promove a cooperação de longo período entre os países sul-americanos, beneficiando-se ainda, do diálogo Norte-Sul dentro do continente americano. Esta abordagem apresenta ótima relação custo-benefício uma vez que permite o compartilhamento de recursos e a troca de informações e conhecimentos

específicos entre os participantes. Os países atualmente participantes são: Argentina, Brasil, Canadá, Chile, EUA, Peru e Venezuela.

Tabela 2.1 – Datas das coletas

UBA 1	11/12/04
UBA 2	1/2/05
UBA 3	17/2/05
UBA 4	29/3/05
UBA 5	6/5/05
UBA 6	25/5/05
UBA 7	8/6/05
UBA 8	13/7/05
UBA 9	11/8/05
UBA 10	29/9/05
UBA 11	16/10/05
UBA 12	11/11/05
UBA 13	6/12/05
UBA 14	24/1/05

Para a análise de regressão múltipla dos dados *in situ*, foi utilizado o programa Statistica versão 6.0 que comparou a relação entre clorofila integrada e mais sete variáveis: temperatura da superfície do mar, profundidade da zona eufótica, clorofila da camada superficial, nitrato, nitrato integrado, nitrogênio total (amônia, nitrato e nitrito) e nitrogênio integrado. Os valores integrados foram obtidos através do programa Matlab 7.0.

2.2 Sensoriamento Remoto

Imagens de satélites da cor do oceano e da temperatura da superfície do mar do sensor MODIS (ou Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) instalado a bordo do satélite AQUA da NASA (National Aeronautics and Space Administration) foram adquiridas nos mesmos períodos de coleta *in situ* e processadas digitalmente com o uso do programa SeaDAS versão 4.9, de modo a fornecer informações sobre os campos de concentração de clorofila na camada superficial do mar (CSM) e temperatura da superfície do mar (TSM). Foram utilizados os algoritmos padrões da NASA, OC3M (O'Reilly *et al.* 2000) para determinação da CSM, e NLSST, com os coeficientes gerados pela

Universidade de Miami, para determinação da TSM. As imagens do MODIS/AQUA são disponibilizadas pelo sítio da NASA (www.nasa.gov) e pelo sítio da rede ANTARES na Internet (www.antares.ws).

Neste trabalho os valores dos dados *in situ* de temperatura da superfície do mar e de concentração de clorofila na camada superficial foram comparados com os valores adquiridos pelo satélite, através da comparação entre as médias e medianas, calculadas através do programa Matlab 7.0.

2.3. Influência das variáveis oceanográficas e meteorológicas

As informações sobre as variáveis climáticas e meteorológicas que influenciaram a região durante os meses de coleta, foram adquiridas na página do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (www.cptec.inpe.br/clima/). Entre elas estão dados de precipitação, de massas de ar e frentes frias, presença da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

A Zona de Convergência do Atlântico Sul pode ser identificada, na composição de imagens de satélite, como uma banda de nebulosidade de orientação NW/SE, estendendo-se desde o sul da região Amazônica até a região central do Atlântico Sul (Kousky, 1988), ou ainda em padrões de distribuição de radiação de onda longa (Carvalho et al., 1989). Algumas características foram confirmadas por Quadro (1994): (i) estende-se para leste, nos subtrópicos, a partir de regiões tropicais específicas de intensa atividade convectiva; (ii) forma-se ao longo de jatos subtropicais em altos níveis e a leste de cavados semi-estacionários; (iii) é uma zona de convergência em uma camada inferior úmida, espessa e baroclínica; (iv) está localizada na fronteira de massas de ar tropical úmida, em regiões de forte gradiente de umidade em baixos níveis, com geração de instabilidade convectiva por processo de advecção diferencial.

O ENOS, ou El Niño Oscilação Sul representa, de forma mais genérica um fenômeno de interação atmosfera-oceano, associado às alterações dos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana, e no Pacífico

oeste próximo à Austrália. Além de índices baseados nos valores da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico equatorial, o fenômeno ENOS pode ser também quantificado pelo Índice de Oscilação Sul (IOS). Este índice representa a diferença entre a pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin/Austrália). Esse índice está relacionado com as mudanças na circulação atmosférica nos níveis baixos da atmosfera, consequência do aquecimento/resfriamento das águas superficiais na região. Valores negativos e positivos da IOS são indicadores da ocorrência do El Niño e La Niña respectivamente (Oliveira, 2001).

3. Resultados e Discussão

3.1. Imagens

3.1.1. Temperatura da superfície do mar

A Figura 3.1 apresenta as imagens de temperatura da superfície do mar processadas dos meses fevereiro, maio, agosto e novembro de 2005.

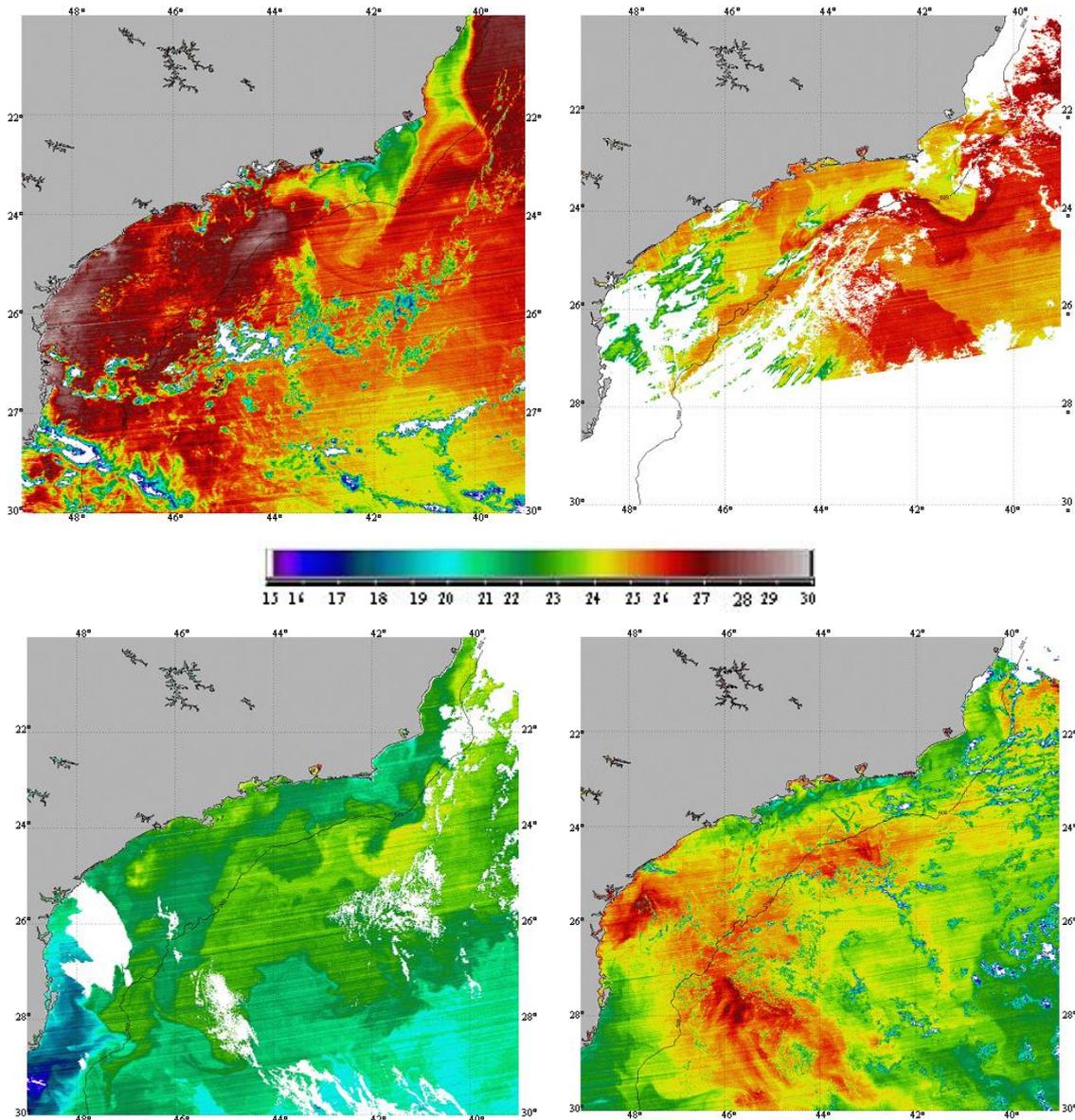


Figura 3.1 – Imagens da temperatura da superfície do mar (°C) referentes aos meses de janeiro (esquerda em cima), maio (direita em cima), agosto (esquerda embaixo) e novembro (direita embaixo) de 2005. Escala de cores em graus Celsius. Isóbata de 500 m sobreposta em cor preta nas imagens.

3.1.2. Concentração de clorofila na camada superficial

A figura 3.2 apresenta as imagens de concentração de clorofila na camada superficial referentes aos meses de fevereiro, maio, agosto e novembro de 2005.

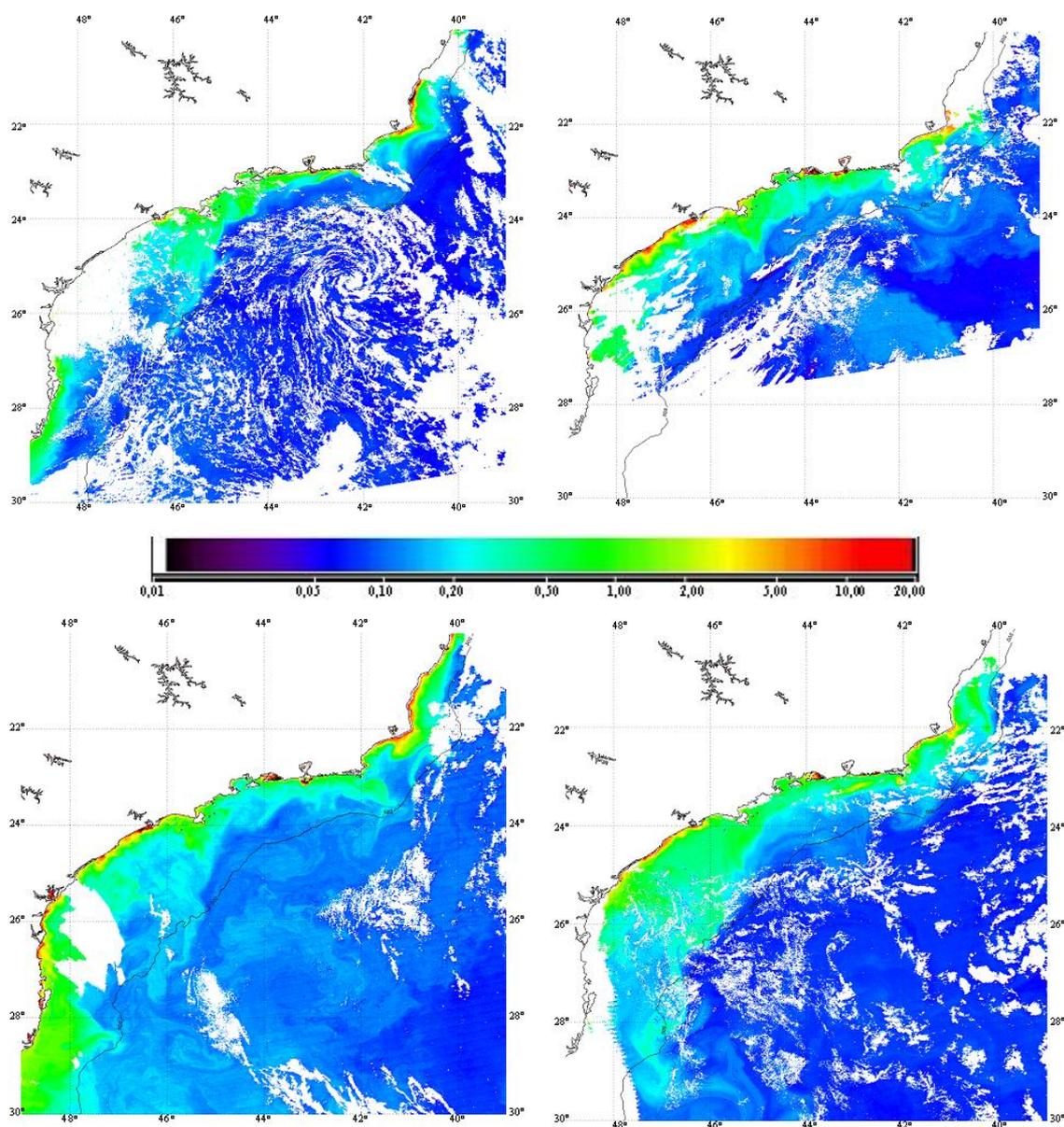


Figura 3.2 – Imagens da concentração de clorofila da camada superficial do mar (mgm^{-3}) referentes aos meses de fevereiro (esquerda em cima), maio (direita em cima), agosto (esquerda embaixo) e novembro (direita embaixo) de 2005. Escala de cores logarítmica em mg m^{-3} . Isóbata de 500 m sobreposta em cor preta às imagens.

Analisando as imagens nota-se que a temperatura da superfície do mar variou entre 25 e 27° nos meses de janeiro e maio, caracterizando uma estação mais quente, e entre 21 e 23° nos meses de agosto e novembro, caracterizando uma estação mais fria. Pode-se perceber também que a concentração da clorofila da camada superficial na área de estudo variou entre 0,5 e 2,00 mgm⁻³.

3.2. Séries temporais

3.2.1 Temperatura da superfície do mar

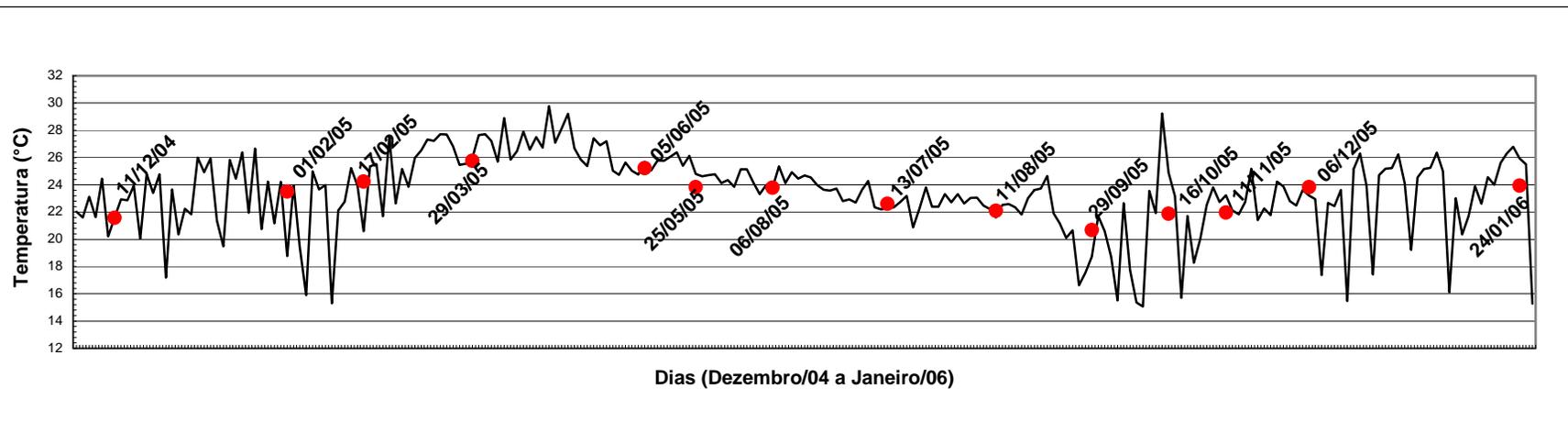
A série temporal da temperatura da superfície do mar foi realizada com os dados obtidos através das imagens diárias de satélite, revelando a variação de temperatura existente entre uma coleta e outra (Figura 3.3). Algumas datas de coleta não apresentaram dados de satélite (11/12/04, 25/05/05, 13/07/05, 29/09/05, 11/11/05, 06/12/05 e 24/01/06) devido, provavelmente, a cobertura de nuvens. Para esse caso foi realizada uma interpolação entre os dados existentes, adquirindo assim as temperaturas restantes.

Nessa figura podemos notar uma maior variação de temperatura nas estações mais quentes, e uma menor variação nas estações mais frias.

3.2.2. Concentração de clorofila na camada superficial

A série temporal da concentração de clorofila na camada superficial do mar foi realizada com os dados obtidos através das imagens de satélite, no período de dezembro de 2004 a janeiro de 2006. Essa série pode ser observada na figura 3.4, onde as amostragens *in situ* estão representadas em vermelho. Nos dias de coleta que não houve imagens do satélite, foi feita uma interpolação dos valores existentes para a obtenção das concentrações restantes (11/12/04, 01/02/05, 17/02/05, 25/05/05, 13/07/05, 29/09/05, 16/10/05, 11/11/05 e 06/12/05). O dia 24/01/06 também não obteve imagem de satélite, porém a interpolação não foi possível, pois não havia dados anteriores e posteriores a essa data. A correlação entre dados *in situ* e de satélite não foi muito grande justamente pela falta de dados de satélite nos dias das coletas (mascaramento por nuvens).

Figura
3.3 –
Série



temporal da temperatura da superfície do mar obtida através de imagens MODIS. Também estão destacadas as amostragens *in situ* (vermelho).

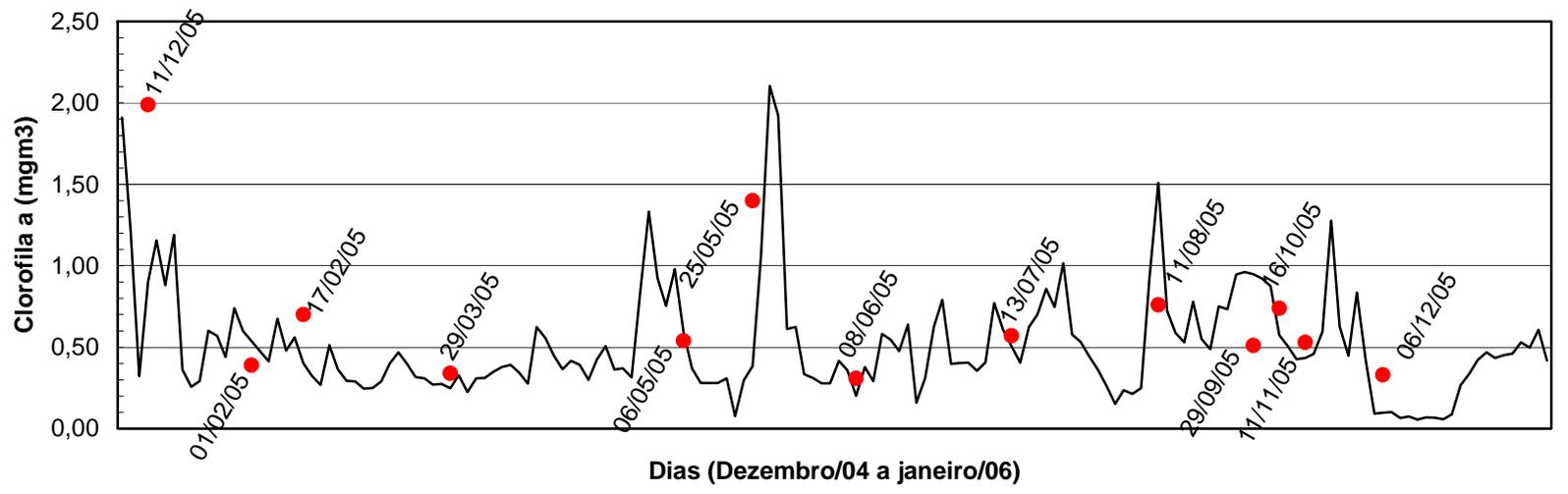


Figura 3.4 – Série temporal da concentração de clorofila da camada superficial do mar obtida através de imagens MODIS. Destacadas em vermelho estão as amostragens *in situ*.

3.3. Análise estatística

A análise de regressão múltipla dos dados *in situ*, comparando a relação entre clorofila integrada e mais sete variáveis (temperatura da superfície do mar, profundidade da zona eufótica, clorofila da camada superficial, nitrato, nitrato integrado, nitrogênio total (amônia, nitrato e nitrito) e nitrogênio integrado, demonstrou que o melhor modelo a ser utilizado seria um com 4 variáveis, com R^2 de 0,725, R^2 ajustado de 0,603 e R de 0,851. Essas quatro variáveis são: clorofila da camada superficial (C_{sup}), profundidade da zona eufótica (P_{zeu}), temperatura da superfície do mar (TSM) e nitrogênio total (NT), segundo a equação abaixo:

$$C_{int} - 13,35 + 0,28Z_{EU} + 4,45C_{sup} + 0,28TSM - 0,92N_T$$

A seguir, são mostradas a porcentagem (%) de explicação de cada variável no modelo (Tabela 3.5), a variância (%) obtida pelos valores de R^2 a cada adição de uma nova variável (Tabela 3.6) e a variância (%) explicada por cada variável (Tabela 3.7).

Tabela 3.5 - Porcentagem (%) de explicação de cada variável no modelo.

Prof. da zona eufótica (Zeu)	44,79
Clorofila sup. (Csup)	40,24
Temp. sup. Mar (TSM)	7,98
Nitrogênio Total (NT)	6,99

Tabela 3.6 - Variância (%) obtida, pelos valores de R^2 , a cada adição de uma nova variável.

Prof. da zona eufótica (Zeu)	16,50
Clorofila sup. (Csup)	66,32
Temp. sup. Mar (TSM)	69,72
Nitrogênio Total (NT)	72,50

Tabela 3.7 - Variância (%) explicada por cada variável.

Prof. da zona eufótica (Zeu)	16,5
Clorofila sup. (Csup)	49,82
Temp. sup. Mar (TSM)	3,4
Nitrogênio Total (NT)	2,78

3.4. Comparação entre dados *in situ* e dados de satélite

3.4.1. Temperatura da superfície do mar

A seguir, será apresentada a comparação entre os dados obtidos através de imagens termais do sensor MODIS e dados *in situ* coletados entre dezembro de 2004 e janeiro de 2006.

Para a comparação das estações de coleta UBA 1, 2, 3, 6 e 8 foram utilizados dados de um período de +1 dia, a partir da data da estação oceanográfica. Para a comparação de UBA 4, 5, 7, 9 e 12 foram utilizados dados do próprio dia da coleta. E não pôde ser realizada a comparação de UBA 10, 11, 13 e 14 devido à falta de dados de satélite, tanto para +1 ou -1 dia a partir da data de coleta. Os pares de dados foram formados entre a TSM e o valor mediano de uma janela de 3 X 3 pixels (9 km²) centrada na posição geográfica na imagem equivalente.

A Tabela 3.8 apresenta os coeficientes encontrados na regressão linear e a diferença média entre as temperaturas *in situ* e os dados de satélite, para o período estudado.

Tabela 3.8 – Análise de regressão linear entre as temperaturas *in situ* e as obtidas por satélite.

T in situ = a Tsat + b					DeltaT = T in situ – Tsat	
a	b	n	R ²	rms	média	dp
0.715	6.2172	10	0.8296	0.6115	-0.656	0.768

A figura 3.9 mostra o diagrama de dispersão do conjunto de dados referente ao período estudado.

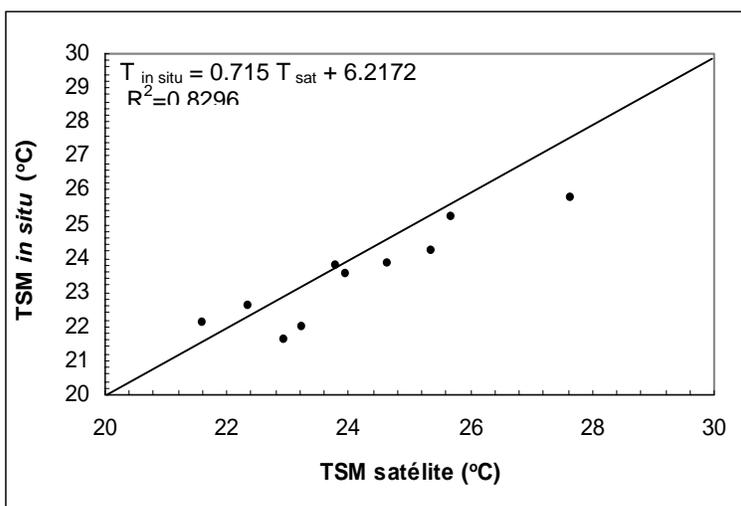


Figura 3.9 – Diagrama de dispersão das temperaturas obtidas por satélite *versus* a temperatura da superfície do mar medida *in situ*.

De um modo geral, pode-se notar que os dados de satélite superestimaram os dados coletados *in situ*, embora tenha apresentado um alto índice de correlação.

3.4.2. Concentração de clorofila da camada superficial

A seguir, será apresentada a comparação entre os dados obtidos através de imagens da cor do oceano e dados *in situ* coletados entre Dezembro de 2006 e janeiro de 2004.

Os dados de satélite foram obtidos para UBA 4, 5, 7 e 9 do próprio dia da estação oceanográfica. Para UBA 2, 3, 6 e 12 utilizou - se dados do período de +1 dia a partir da data da coleta, e para UBA 1, e 8, o período de -1 dia a partir do dia da coleta. Dados de UBA 10, 11, 13 e 14 não foram obtidos, provavelmente, por influência da cobertura por nuvens. A Tabela 3.10 apresenta os valores encontrados através da regressão linear dos dados.

Tabela 3.10 – Análise de regressão linear entre a clorofila *in situ* e a obtida por satélite (log - transformada; n=10).

$C_{in\ situ} = a C_{sat} + b$					DeltaC = C in situ - Csat	
a	b	n	R ²	rms	média	dp
0,739	0,018	10	0,446	0,135	0,0958	0,4229

A figura 3.11 mostra o diagrama de dispersão do conjunto de dados referente ao período estudado, onde pode-se notar uma correlação não muito considerável entre dados *in situ* e os obtidos por satélite.

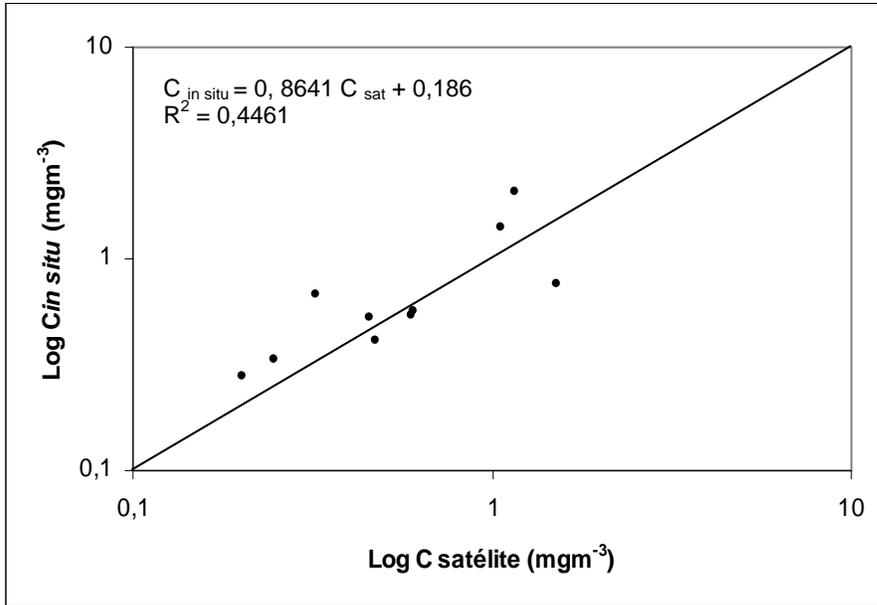


Figura 3.11 – Diagrama de dispersão das clorofilas obtidas por satélite *versus* a clorofila da camada superficial do mar medida *in situ*.

Cruzeiros oceanográficos tendem a ser custosos em termos de duração e esforço, além de limitados em tempo e área abrangida. Em contraste, imagens de satélite podem ser usadas para obtenção de dados de concentração de clorofila – a, incidência da radiação solar, e temperatura da água em escalas espaciais e temporais, de onde é possível estimar biomassa fitoplanctônica assim como taxas de produtividade primária (Holm-Hansen et al, 2004). Portanto é interessante o uso de medidas *in situ* e de satélite em conjunto, para preencher as lacunas existentes em cada um desses processos.

3.5 Análise climática e meteorológica

Dezembro de 2004

O verão começou no dia 21 de dezembro, às 10h42min. Climatologicamente, com a chegada da nova estação ocorre um aumento das chuvas nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste. Entretanto, neste mês, as chuvas foram escassas em grande parte do Brasil, com predominância de valores abaixo da média histórica. As frentes frias apresentaram rápido deslocamento pela Região Sul e ficaram semi-estacionários sobre as Regiões Sudeste e Centro-

Oeste, contribuindo para a configuração de dois episódios da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). O Atlântico Tropical Sul apresentou TSM próxima à climatologia, porém, ocorreram anomalias (desvios das médias mensais em relação à climatologia) positivas de até 2°C em praticamente toda extensão ao longo da costa africana.

Neste mês, a ZCAS configurou-se em dois episódios: o primeiro entre os dias 09 e 14 e o segundo entre os dias 21 e 25. Em ambos os episódios, a banda de nebulosidade associada esteve centrada preferencialmente sobre as Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, proporcionando um aumento das chuvas em Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e em áreas no litoral do Estado de São Paulo. Em dezembro, somente quatro sistemas frontais atuaram no país (Tabela 3.12-A). Este número ficou abaixo da média histórica que é de seis sistemas frontais para latitudes entre 30°S e 25°S.

Janeiro de 2005

Os sistemas frontais, que permaneceram semi-estacionários em grande parte das Regiões Sudeste e Sul do Brasil, foram os principais responsáveis pelas intensas chuvas ocorridas neste mês. Presença de um fraco episódio El Niño-Oscilação Sul (ENOS). No Atlântico Tropical Sul, as águas ficaram acima da média na região próxima à costa leste do Nordeste brasileiro, com anomalias de até 0,5°C.

A atuação de sistemas frontais, a configuração de um episódio de ZCAS e o desenvolvimento de áreas de instabilidade ao longo do mês, proporcionaram chuvas mais intensas no sul de Minas Gerais, no Rio de Janeiro e em São Paulo. No município de Ubatuba, litoral norte de São Paulo, a chuva acumulada no mês foi de igual a 439,6 mm, superior a média histórica em aproximadamente 63 mm.

Em janeiro, quatro sistemas frontais atuaram no País (Tabela 3.12-B). No período de 16 a 21, as frentes permaneceram semi-estacionárias sobre os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro, caracterizando o único episódio de ZCAS deste mês, observado entre os dias 17 e 21. A banda de nebulosidade associada a este episódio configurou-se em grande parte do Brasil Central, prolongando-se, na altura do litoral do Estado de São Paulo, para o Oceano Atlântico.

Fevereiro de 2005

O mês de fevereiro foi caracterizado pela ocorrência de pouca chuva e temperaturas elevadas em grande parte do País. Na Bahia e no norte da Região Sudeste, as chuvas ficaram acima da média e estiveram associadas ao posicionamento da ZCAS. No Oceano Atlântico, persistiu, pelo terceiro mês consecutivo, o aquecimento próximo à Bacia do Prata, com valores de TSM que excederam a média histórica em mais que 2°C.

O mês de fevereiro apresentou déficit de precipitação na maior parte do País. As chuvas excederam a média histórica na Bahia e no norte da Região Sudeste, onde houve influência da ZCAS que se posicionou a leste da sua climatologia. Em fevereiro, cinco sistemas frontais atuaram no país (Tabela 3.12-C), sendo a climatologia igual a seis sistemas para latitudes entre 35°S e 25°S. As frentes frias foram de fraca intensidade e tiveram um rápido deslocamento pela Região Sul, causando nebulosidade e chuva fraca, principalmente no litoral desta Região. No dia 13, o ramo frio do segundo sistema frontal deslocou-se para o oceano e o sistema de baixa pressão a ele associado permaneceu próximo ao litoral de São Paulo, no período de 14 a 16. Em fevereiro, houve a configuração de apenas um episódio de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), no período de 13 a 22.

Março de 2005

Em março, ocorreram episódios de chuvas intensas em quase todas as Regiões do País. Seis frentes frias ingressaram nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil, provocando leve declínio de temperatura no litoral. A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) continuou acima da média histórica no setor oeste do Pacífico Equatorial. Contudo, observou-se uma tendência de neutralidade em relação ao atual episódio El Niño-Oscilação Sul (ENOS).

Em março, cinco frentes frias ingressaram nas Regiões Sul e Sudeste do Brasil (Tabela 3.12-D). De modo geral, estes sistemas deslocavam-se pelo oceano e intensificavam-se ao interagirem com sistemas de baixa pressão semi-estacionários no litoral sul e sudeste do Brasil. Houve episódios de frontogênese e

ciclogênese. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) esteve configurada em dois episódios: o primeiro ocorreu no período de 01 a 07 e o segundo entre os dias 15 e 20. Em ambos os episódios, a banda de nebulosidade associada esteve centrada preferencialmente sobre as Regiões Sudeste e Centro-Oeste, posicionando-se mais ao norte no primeiro caso.

Abril de 2005

Anomalias positivas de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) são observadas na região equatorial, em torno da Linha Internacional de Data. O Atlântico Sul também esteve aquecido neste mês, especialmente próximo à costa sudeste do Brasil, onde se notou uma pequena área com anomalia positiva de TSM de até 1°C. Por outro lado, observou-se uma extensa região com anomalias negativas de TSM adjacente à costa oeste da África, modificando-se a situação observada até o mês anterior.

Os sistemas frontais que atuaram na Região proporcionaram chuvas intensas e ventos fortes, principalmente no litoral norte de São Paulo. Contudo, as chuvas estiveram abaixo da média histórica em praticamente toda a Região. Em abril, duas ciclogêneses e sete sistemas frontais ocorreram no país (Tabela 3.12-E).

Maio de 2005

A temperatura da Superfície do Mar (TSM) apresentou valores próximos à média histórica no Pacífico Equatorial, indicando condições de neutralidade no que se refere à presença do episódio ENOS. Foram observados alguns núcleos com anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) ligeiramente positivas na faixa equatorial.

Dos sete sistemas frontais (Tabela 3.12-F) que atuaram no País, apenas dois contribuíram para a ocorrência de chuvas em grande parte do leste brasileiro. A ocorrência de eventos extremos de chuva foi o destaque para a Região Sudeste. No dia 09 de maio, uma tromba de água se formou sobre o oceano, próximo ao litoral de Ubatuba, mas não chegou a atingir a praia. Na tarde do dia 24, houve a formação de grande instabilidade atmosférica sobre o sul desta

Região, com o registro de chuva forte em praticamente todo o Estado de São Paulo.

Junho de 2005

O inverno teve início no dia 21 de junho, às 03h46min, horário de Brasília. Dos sistemas frontais que atuaram no País, apenas um conseguiu avançar para latitudes mais ao norte e atingir o Nordeste.

A fraca atuação dos sistemas frontais contribuiu para a ocorrência de chuvas abaixo da média histórica em grande parte da Região. No total, sete sistemas frontais (Tabela 3.12-G) atuaram no Brasil, número acima da climatologia que é de seis sistemas frontais para este mês.

Julho de 2005

Cinco sistemas frontais atuaram no mês de julho (Tabela 3.12-H). No dia 28, o quinto sistema frontal encontrava-se no litoral de São Paulo. Este sistema estava associado a uma baixa pressão sobre o oceano. No dia seguinte, deslocou-se até o litoral de Ubatuba-SP, indo, posteriormente, para o oceano.

Agosto de 2005

Em agosto, seis sistemas frontais atuaram no país (Tabela 3.12-I). A maioria dos sistemas frontais esteve associada à formação de sistemas de baixa pressão que contribuíram para o seu rápido deslocamento.

No dia 06, o segundo sistema frontal do mês ingressou pelo interior do Rio Grande do Sul, Bolívia e Paraguai. Esta frente fria teve um rápido deslocamento, posicionando-se sobre o litoral da Região Sudeste no dia 07, permanecendo semi-estacionária em Ubatuba-SP entre os dias 08 e 09. No dia 17, o quarto sistema frontal teve um deslocamento pelo interior da Região Sul, até Foz do Iguaçu-PR. Pelo litoral, esta frente avançou rapidamente desde o sul do Rio Grande do Sul até o litoral de Ubatuba-SP, deslocando-se até o litoral de cabo Frio-RJ no dia 20.

Setembro de 2005

A primavera iniciou no dia 22, às 19h23min. Neste mês, observou-se o início de um ligeiro aumento das chuvas nas Regiões Sul e Sudeste.

Em setembro, a atuação de sistemas frontais ocorreu preferencialmente sobre a Região Sudeste do Brasil. Seis sistemas frontais atuaram no mês de setembro (Tabela 3.12-J). O último sistema frontal do mês de agosto, que se encontrava no litoral de Santos-SP no dia 31, posicionou-se em Ubatuba-SP no início deste mês.

Outubro de 2005

A média da Temperatura da Superfície do Mar, na região das coletas, ficou entre 18°C e 24°C no mês de Outubro, e as anomalias entre 0,5° e 1° positivos.

Em outubro, oito sistemas frontais atuaram no País (Tabela 3.12-L). Na primeira quinzena do mês, as frentes frias, ao ingressarem até a Região Sudeste, deslocavam-se para o oceano devido à presença de vórtices ciclônicos em altos níveis (VCAN) na Região Nordeste. Na segunda quinzena, notou-se que a formação de vórtices ciclônicos e cavados na Região Sul do Brasil intensificou a ocorrência de frontogênese e ciclogênese entre os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. O segundo sistema frontal permaneceu, no litoral, estacionário em Ubatuba-SP entre os dias 06 e 07, onde enfraqueceu.

Novembro de 2005

Em novembro, as chuvas foram intensas principalmente na Região Sudeste do Brasil. A formação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) contribuiu para a ocorrência de chuvas acima da média histórica em grande parte dos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Bahia.

As características atmosféricas observadas em novembro sobre o Brasil foram típicas de um regime de verão, com ocorrência de muitas chuvas na Região Sudeste e no sul da Região Nordeste. A passagem de frentes frias e a ocorrência de três episódios de ZCAS, nos períodos de 10 a 15, 17 a 21 e 24 a 28, possibilitaram a formação de áreas de instabilidade que causaram chuvas e ventos fortes em várias localidades. Neste mês, sete sistemas frontais atuaram no País (Tabela 3.12-M). De modo geral, os sistemas frontais atuaram mais intensamente sobre as Regiões Sudeste e Nordeste do Brasil, permanecendo semi-estacionários sobre o oceano, caracterizando a formação da ZCAS.

Dezembro de 2005

A Temperatura da Superfície do Mar (TSM) apresentou valores inferiores à média nos setores central e leste do Oceano Pacífico Equatorial. Esta configuração persistiu pelo quarto mês consecutivo e definiu, neste mês, o início de um episódio La Niña de fraca intensidade.

Dois episódios da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) estiveram bem caracterizados nos períodos de 11 a 16 e entre 24 e 29 sobre o norte das Regiões Centro-Oeste e Sudeste, sul da Bahia e sobre o sul da Região Norte. Como estes episódios atuaram mais ao norte, grande parte do Estado de São Paulo apresentou déficit de precipitação.

Em dezembro, seis sistemas frontais atuaram no País (Tabela 3.12-N). Na maior parte do mês, a presença de VCAN's (vórtices ciclônicos em altos níveis) no oceano, adjacente à Região Nordeste do Brasil, e a ocorrência de dois episódios de ZCAS sobre as Regiões Sudeste e Centro-Oeste fizeram com que as frentes frias permanecessem semi-estacionárias nestas regiões.

Janeiro de 2006

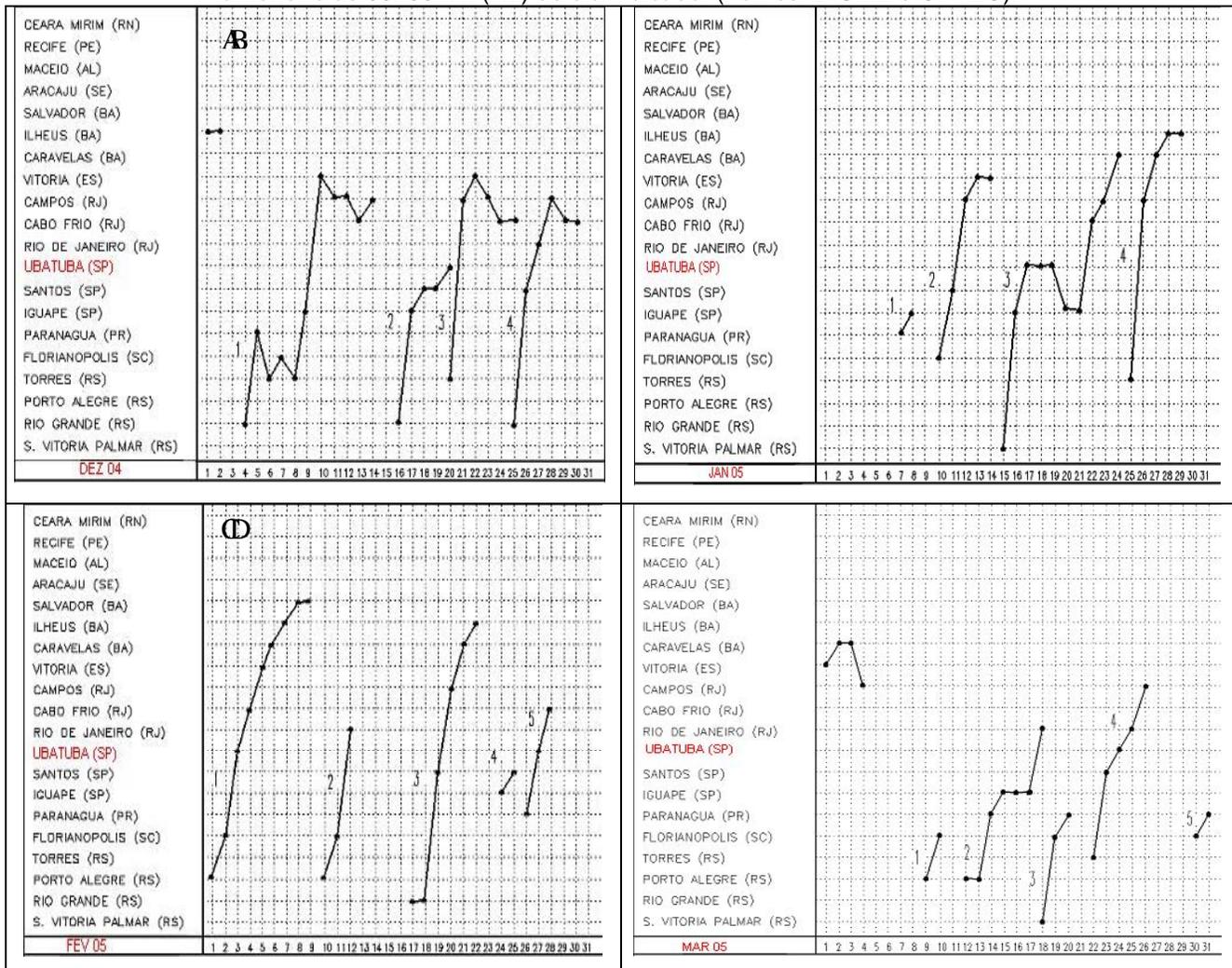
No Brasil, em particular, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) atuou preferencialmente sobre os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro na primeira e última semana do mês. As chuvas foram intensas no início e final do mês, quando ocorreram dois episódios da ZCAS. O primeiro evento ocorreu no período de 01 a 08 e o segundo iniciou no dia 27, prolongando-se até o início de fevereiro.

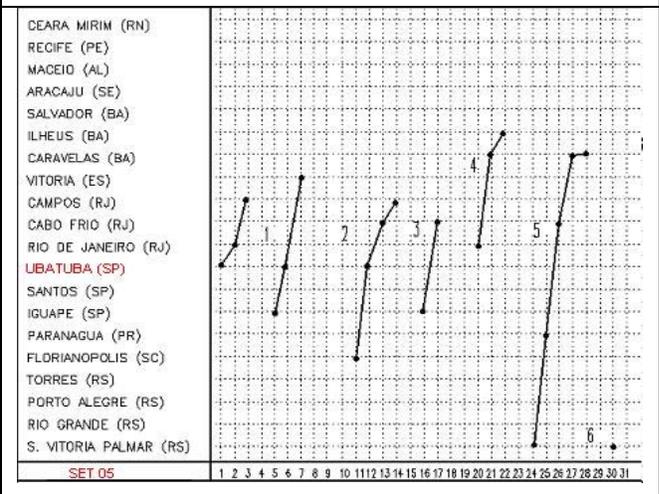
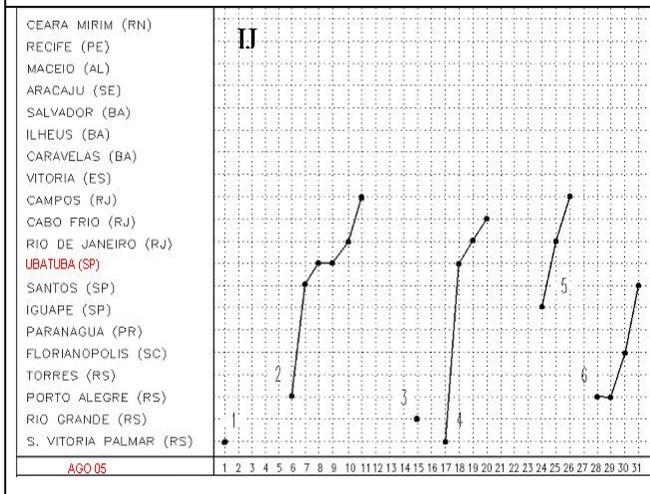
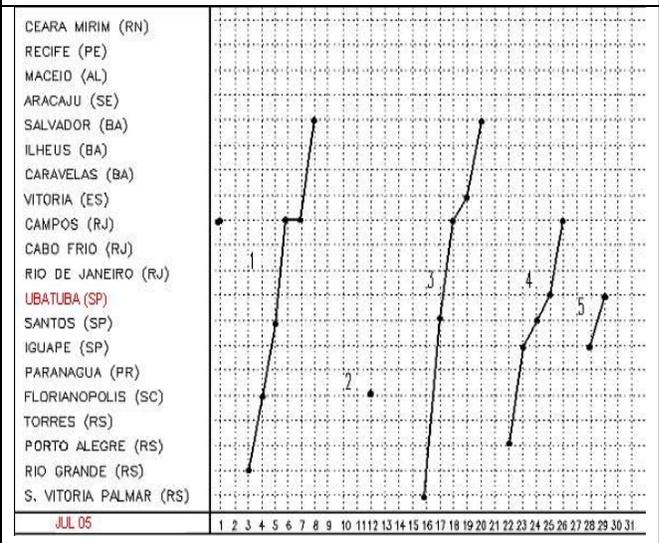
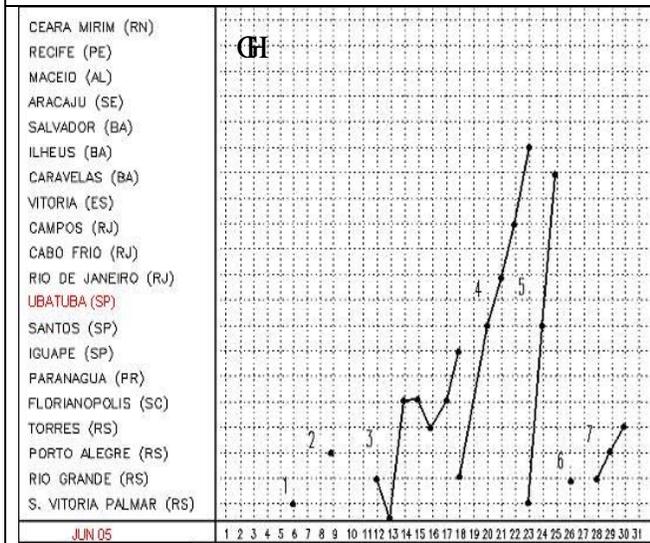
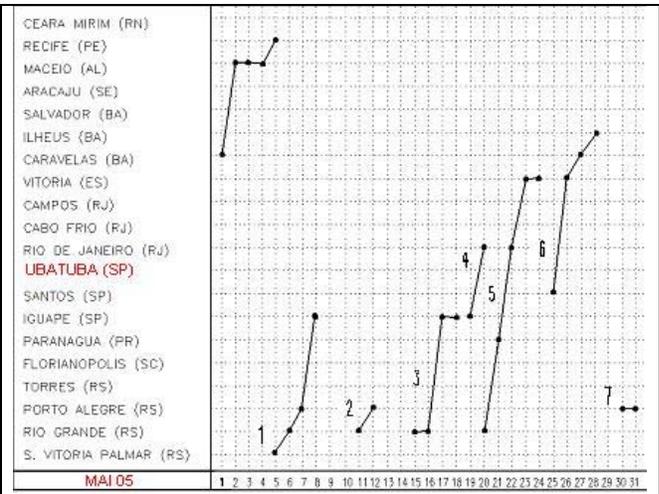
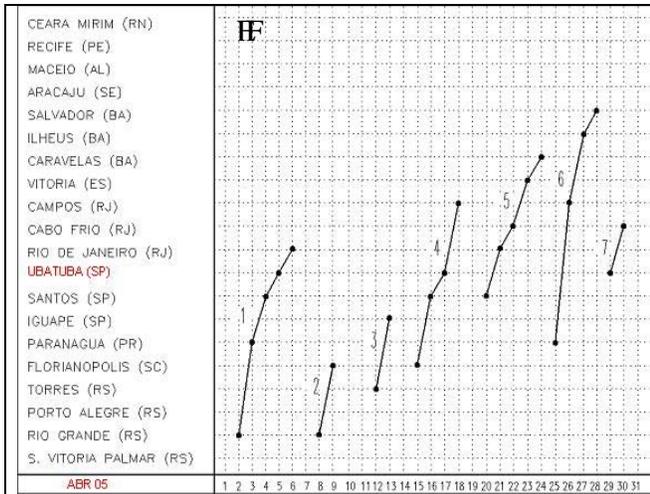
Seis sistemas frontais atuaram no decorrer do mês de janeiro no País (Tabela 3.12-O). Na sua maioria, estes sistemas frontais avançaram rapidamente pela Região Sul até a Região Sudeste do Brasil. A permanência destes sistemas sobre áreas oceânicas adjacentes ao litoral brasileiro contribuiu para a configuração dos dois episódios de ZCAS.

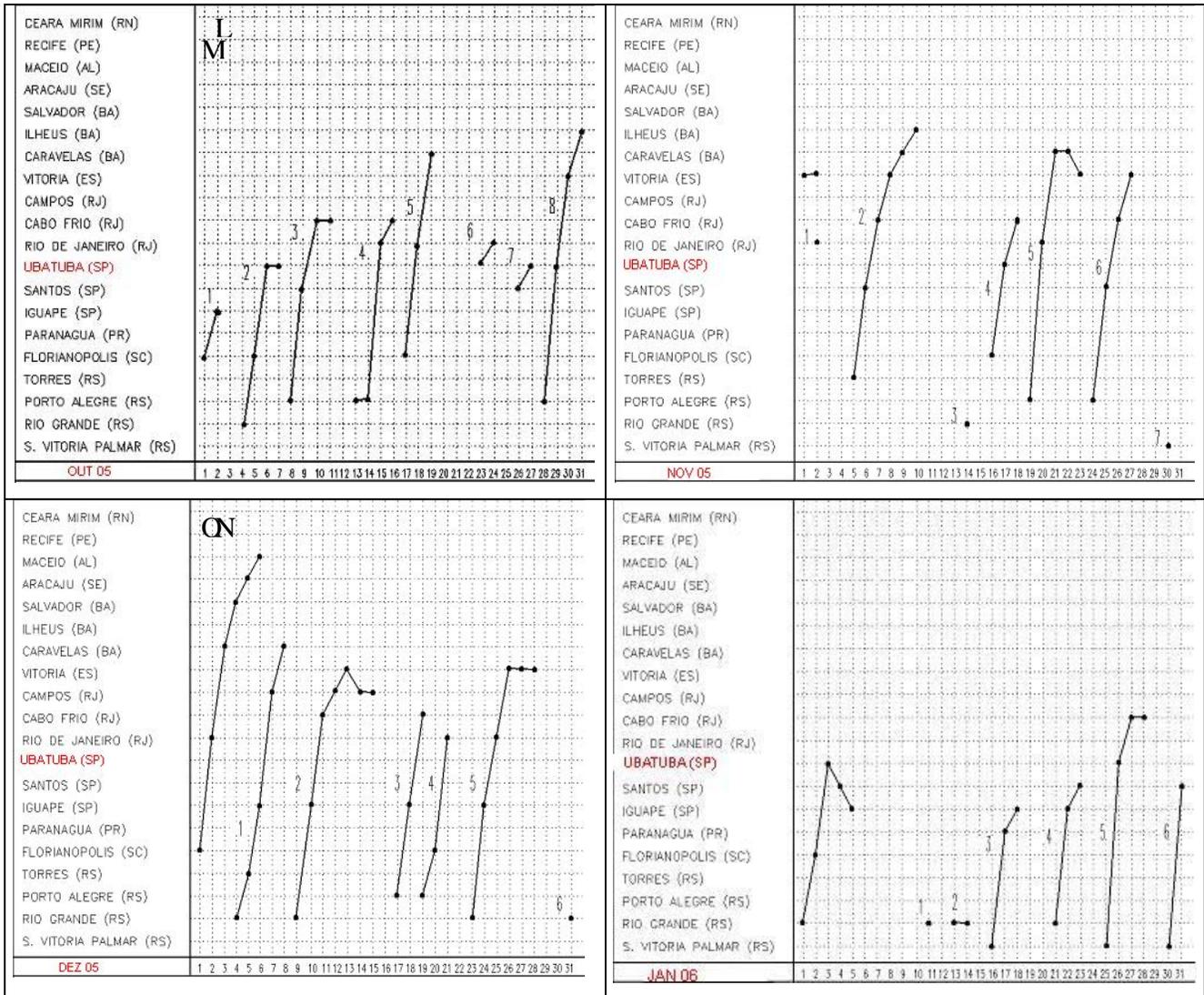
O quarto sistema frontal originou-se de uma ciclogênese que se configurou no dia 20. No dia 21, a frente fria associada deslocou-se pelo interior do Rio Grande do Sul e rapidamente atingiu o litoral do Estado de São Paulo, onde permaneceu entre os dias 22 e 23. No dia 25, o quinto sistema frontal configurou-

se no extremo sul do Rio Grande do Sul, associado a uma ciclogênese sobre o Uruguai. Esta frente fria deslocou-se rapidamente, posicionando-se no litoral de Ubatuba-SP no dia 26. Nos dias 27 e 28, o sistema frontal posicionado sobre o oceano ainda atuava no litoral do Rio de Janeiro-RJ. Esta frente fria contribuiu para a caracterização do segundo episódio de ZCAS.

Tabela 3.12 - Seções estação versus tempo dos sistemas frontais que penetraram no Brasil no período estudado. As linhas indicam que a frente passou pela estação entre 09h00min (HL) do dia anterior e às 09h00min (HL) do dia indicado. (Fontes: DISME e CPTEC).







A passagem de frentes frias, massas de água e outros eventos meteorológicos influenciam tanto na temperatura da superfície do mar, como na concentração de clorofila da camada superficial. Portanto, para um melhor resultado é preciso levar todos em consideração.

4. Considerações Finais

De acordo com os objetivos propostos, os dados de concentração de clorofila da camada superficial do mar e temperatura da superfície do mar *in situ*, foram comparados com imagens de satélites. Os valores entre as concentrações de clorofila *in situ* e de satélite não apresentaram uma correlação muito considerável, provavelmente, devido ao fato das imagens de satélite de vários meses não apresentarem valores para o dia exato da coleta. Em relação às temperaturas da superfície do mar, a correlação foi bem maior, mas sendo um pouco, prejudicada pelo mascaramento de nuvens nas imagens MODIS. Apesar dos resultados não serem muito precisos, podemos afirmar que a aquisição de dados de satélite otimiza o trabalho realizado em campo.

Quanto à análise climática e meteorológica podemos perceber a passagem de frentes frias próximas ao dia da estação oceanográfica nos meses de dezembro de 2004 (dois dias antes); maio (dia 25), agosto (dois dias antes), setembro (três dias antes), outubro (coleta entre duas frentes) e dezembro de 2005. A atuação da ZCAS pode ser observada nos meses de dezembro de 2004; janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro de 2005; e janeiro de 2006. Houve a presença do fenômeno El Niño, de fraca intensidade, no mês de janeiro de 2005 e do fenômeno La Niña em dezembro de 2005. Essas condições meteorológicas afetam a distribuição, composição e biomassa do fitoplâncton.

Sugere-se para trabalhos futuros, a análise da real influência dessas condições meteorológicas sobre a população fitoplanctônica da região, a comparação de dados *in situ* e de satélite de um maior número de pontos de coleta (pelo menos cinco pontos) e uma comparação entre valores não só da concentração de clorofila da camada superficial e temperatura da superfície, mas também de dados de nutrientes, profundidade da zona eufótica (disco de secchi e K490) e material em suspensão.

5. Referências Bibliográficas

ABREU, P.C. et al. Produção fitoplanctônica e bacteriana na região da pluma estuarina da Lagoa dos Patos-RS. Brasil, **Atlântica**, 1994.

AIDAR, E. et al. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP. **Publ. esp. Inst. oceanogr.**, São Paulo, v.10, p.9-43, 1993.

AMBRÓSIO JR, O. **Estudos sazonais sobre distribuição de alguns fatores físicos, químicos e de clorofila a na Enseada das Palmas – Ilha Anchieta – Ubatuba – São Paulo**. 1989. 142p. Dissertação (Doutorado). Instituto Oceanográfico. São Paulo, Universidade de São Paulo.

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

BRANDINI, F.P.; LOPES, R.M.; GUTSEIT, K.S.; SPACH, H.L.; SASSI, R. **Planctologia na Plataforma Continental do Brasil: Diagnose e Revisão Bibliográfica**.: MMA - CIRM - FEMAR, 1997. 196 p.

BRANDINI, F.P.; MORAES, C.L.B.; THAMM, C.A. Shelf brake upwelling, subsurface maxima of chlorophyll and nitrite, and vertical distribution of a subtropical nano- and microplankton community off southeastern Brazil. In: III ENCONTRO BRASILEIRO DE PLÂNCTON, Brandini, F.P. (ed.). UFPR, Caiobá, p.47-56, 1989.

CARVALHO, A.M.G; et al. Upper tropospheric vorticity and OLR structure over tropical South América. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE IN SOUTHERN HEMISPHERE. Buenos Aires, 1989.

CASTRO FILHO, B.M.; MIRANDA, L.B.; MIYAO, S. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. **Bolm. Inst. oceanogr.**, S. Paulo, 35(2), p.135-151, 1987.

CASTRO, B.M; MIRANDA, L.B.; MIYAO, S.Y. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. **Bolm. Inst. oceanogr.**, v.35, n.2, p. 135-151, 1987.

CIOTTI, A.M. Fundamentos de Aplicações de dados bio-ópticos em Oceanografia Biológica. In: SOUZA, R.B. (Org.). **Oceanografia por Satélites**. São Paulo, 2005. p.205-219.

CLARK, D.K.; SHERMAN, J.W. Nimbus – 7 Coastal Zone Color Scanner: ocean color applications. **MTS Journal**, v.20, n.2, p. 43-56, 1986.

DUGDALE, R.C.; GOERING, J.J. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. **Limnol. Oceanogr.**, 12:196-206. 1967.

EMILSSON, I. Alguns aspectos físicos e químicos das águas marinhas brasileiras. **Ciência e Cultura**, 11(2), p.44-54, 1959.

- EMILSSON, I. The shelf and coastal waters off southern Brazil. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, v.11, n.2, p. 101-112, 1961.
- FALKOWSKI, P.G.; BARBER, R.T.; SMETACEK, V. Biogeochemical Controls and Feedbacks on Ocean Primary Production. **Science**, v.281, p.200-206. 1998.
- GAETA, A.S. Oceanografia Biológica: Plâncton - Estado de São Paulo. In: J. L. Valentin e A. S. Gaeta (ed). **Diagnóstico Ambiental Oceânico e Costeiro das Regiões Sul e Sudeste do Brasil**. São Paulo, p.46-119, 1994.
- GAETA, S.A. et al. **Size fractionation of primary production and phytoplankton biomass on the inshore waters of the Ubatuba region, Brazil**. Publ. esp. Inst. oceanogr., São Paulo, v.11, p.153-162, 1995.
- GARCIA, C.A.E. et al. Chlorophyll variability and eddies in the Brazil-Malvinas Confluence region. **Deep-Sea Research II**, [S.I.], n.51, p.159-172, 2004.
- GONZALEZ-SILVEIRA, A. et al. Satellite observations of mesoscale eddies in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo (Eastern Tropical Pacific). **Deep-Sea Research II**, [S.I.], p.587-600, 2004.
- GORDON, H.R.; MOREL, A. **Remote assessment of ocean colour for interpretation of satellite visible imagery: a review**. New York, Spriger – Verlag, 114p. 1983.
- GRASSHOFF, K. Methods of Sea Water Analysis. **2nd. ed. Weimhein: Verlag Chemie**. 423p. 1983.
- HOLM-HANSEN, O. et al. Temporal and spatial distribution of chlorophyll in surface waters of the Scotia Sea as determined by both shipboard measurements and satellite data. **Deep Sea Research II**. v.51, p. 1323-1331, 2004.
- HOLM-HANSEN, O.; et al. Fluorometric determination of chlorophyll. **International council for the exploration of the sea**. v. 30, p. 3-15, 1965.
- HU, C. et al. The dispersal of the Amazon and Orinoco River water in the tropical Atlantic and Caribbean Sea: Observation from space and S-PALACE floats. **Deep-Sea Research II**, [S.I.], p.1151-1171, 2004.
- INOSTROZA, V.H.M.; MALUF, S. Atlas de estruturas oceanográficas da costa sudeste e do Brasil para estudos de sensoriamento remoto. Vol. I e II (INPE, Jan., Ed:inpe) (INPE-180-NTE/108). 1978.
- IOCCG. Remote sensing of ocean color in coastal, and other optically complex waters. In: SATHYENDRANATH, S.; STUART, V. (Orgs.) **Reports of the International Ocean Color Coordinating Group**. Dartmouth: IOCCG, 2000.
- JGFOS Report of the first session of the SCOR committee for JGFOS. **Science Communication Oceanography Research**, [S.I.], 1998.
- 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. Dissertação (Doutorado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo.

- KAMPEL, M.; NOVO, E.M.L.M. O sensoriamento remoto da cor do da água. In: SOUZA, R.B. (Org.). **Oceanografia por Satélites**. São Paulo. p.179-196. 2005.
- KOUSKY, V. E. Pentad outgoing long wave radiation climatology for the South America sector. **Rev. Bras. Meteo.** v.3, p. 217-231, 1988.
- LALLI, C.M.; PARSONS, T.R. Biological oceanography: an introduction. **Oxford: Pergamon-press**, 301p.1993.
- LORENZZETTI, J.A. Sensoriamento remoto. In: CASTRO FILHO, B.M. et al. **Diagnóstico Ambiental Oceânico e Costeiro das Regiões Sul e Sudeste do Brasil**. São Paulo, p.71-97, 1994.
- MATSSURA, Y. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre o Cabo Frio (RJ) e o Cabo de Santa Marta Grande (SC). **Ciência e Cultura**, v.38, n.8, p. 1439-1450, 1986.
- METZLER, P.M. **Estudo da produtividade primária e características fisiológicas do fitoplâncton na região de Ubatuba, São Paulo, através de curvas de luz – fotossíntese**. Dissertação (Mestrado). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 123p., 1991.
- METZLER, P.M. et al. New and regenerated production in the South Atlantic off Brazil. **Deep Sea Res.**, 1996.
- MONGER, B.; MCCLAIN, C.; MURTUGUUDE, R. Seasonal phytoplankton dynamics in the eastern tropical Atlantic. **J. Geoph. Res.**, v.102, p.12389-12411, 1997.
- MOREL, A.; PRIEUR, L. Analysis of variations in ocean color. **Limnol. Oceanogr.**, v. 22, p. 709-722, 1977.
- MUELLER, J.L. *et al.*. Methods Ocean Optics Protocols For Satellite Ocean Color Sensor Validation, Revision 4, Volume IV: **Inherent Optical Properties: Instruments, Characterizations, Field Measurements and Data Analysis Protocols**. NASA/TM-2003-211621/Rev4-Vol.IV. Greenbelt, Md, NASA Goddard Space Flight Center. 83p. 2003.
- ODEBRECHT, C.; DJURFELDT, L. The role of near shore mixing on the phytoplankton size structure off Santa Marta Cape, southern Brazil (Spring 1989). **Arch. Fish. Mar. Res.**, v. 43, n. 3, p. 217-230, 1996.
- OLIVEIRA, G.S. **O el Niño e você – o fenômeno climático**. Ed. Transtec, São José dos Campos. 2001.
- O'REILLEY, J.E. et al.. SeaWIFS Post launch Calibration and a Validation Analyses, Part 3, Vol.11. In: HOOKER, S.B.; FIRESTONE, E.R. (eds). NASA Tech. Memo. 2000-2206892. Greenbelt, Md, NASA Goddard Space Flight Center. 2000.
- PERAZZA, M.C.D. **Variação sazonal do fitoplâncton e dos fatores ambientais na Enseada do Flamengo (Lat.23⁰30' S – Long. 45⁰06' W)**. Algumas considerações metodológicas. Dissertação (Mestrado), Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 105p., 1983.

QUADRO, M.F.L. **Estudo de episódios de zonas de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul.** 1994. 97p. Dissertação (Mestrado) – INPE, São José dos Campos.

RYAN, J.P.; YODER, J.A.; TOWNSEND, D.W. Influence of a Gulf Stream warmcore ring on water mass and chlorophyll distributions along the southern flank of Georges Bank. **Deep-Sea Research II**, [S.l.], p.159-178, 2001.

RYTHER, J.H.; DUNSTAN, W.M. Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. **Science**, 171, p.1008-1013, 1971.

SALDANHA, F.M.P. **Simulação da mistura vertical de massas d'água da região de Ubatuba (SP), efeitos sobre a produção primária e biomassa fitoplanctônica.** 1993. 142p. Dissertação (Mestrado). Instituto Oceanográfico. São Paulo, Universidade de São Paulo.

SASSI, R. **Variação sazonal do fitoplâncton e fatores ecológicos básicos da região do Saco da Ribeira (Lat.23°30' S – Long. 45°07' W), Ubatuba, Brasil.** Dissertação (Mestrado). Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 147p., 1975.

SASSI, R.; KUTNER, M.B. Variação sazonal do fitoplâncton da região do Saco da Ribeira (Lat.23°30' S – Long. 45°07' W), Ubatuba, Brasil. **Bolm. Inst. oceanogr.**, S. Paulo, v.31, p.29-42, 1982.

SATHYENDRANATH, S.; MOREL, A. Light emerging from the sea – interpretation and uses in remote sensing. In: A. P. e. Cracknell (ed). **Remote sensing applications in marine science and technology.** Dordrecht, D. Reidel Publishing Company, p. 323-357, 1983.

SIGNORINI, S.R. On the circulation and volume transport of the Brazil current between the Cape of Sao Tome and Guanabara Bay. **Deep-Sea Res.**, v.25, p.481-490, 1978.

STEEMAN-NIELSEN, E. The use of radioactive carbon (C¹⁴) for measuring organic production in the sea. **J. Cons. Explor. Mer.**, v. 18, p. 117-140, 1952.

TEIXEIRA, C. Introdução aos métodos para medir a produção primária do fitoplâncton marinho. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, São Paulo. v. 22, p. 59-73, 1973.

TEIXEIRA, C. Preliminary studies of primary production in the Ubatuba region. (lat. 23°30' S – Long. 45 °06' W), Brazil. **Bolm. Inst. Oceanogr.**, São Paulo. v. 22, p. 49-58, 1973.

TEIXEIRA, C. A influência das variações nictemeral e sazonal sobre as curvas de luz – fotossíntese. **Bolm. Inst. oceanogr.**, S. Paulo, 31(1), p.55-67, 1982.

TEIXEIRA, C. Daily variation of marine primary production in the Flamengo Inlet, Ubatuba Region, southern Brazil. **Algas: A Energia do Amanhã**, p.97-108, 1986.

TEIXEIRA, C. **Estudo quantitativo da produção primária, clorofila-a e parâmetros abióticos em relação à variação temporal (Lat. 23°30' S – Long. 45°06' W).** Tese de Livre Docência, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 243p., 1980.

TEIXIERA, C. Produção primária e algumas considerações ecológicas da região de Ubatuba (Lat.23⁰30' S – Long. 45⁰06' W), Brasil. **Bolm. Inst. oceanogr.**, S. Paulo, 28(2), p.23-28, 1979.

TEIXIERA, C.; GAETA, S.A. Variações nictemeral da clorofila-a, produção primária do fitoplâncton e fatores ambientais da região de Ubatuba (Lat.23⁰30' S – Long. 45⁰06' W). **Bolm. Inst. oceanogr.**, S. Paulo, 39(1), p.15-24, 1991.

TEIXIERA, C; VIEIRA, A.A.H. Nutrient experiment using *Phaedactylum tricornutum* as an assay organism. **Bolm. Inst. oceanogr.**, S. Paulo, v.25(1), p.29-42, 1976.

UNESCO. Progress on oceanographic tables and standards: work and recommendations of the UNESCO/SCOR/ICES/IASPO Joint Panel. Unesco technical papers in marine science 50, 1988.

VINCE, S.; VALIELA, I. The effects of ammonium and phosphorus enrichments on chlorophyll-a, pigment ratio and species composition of phytoplankton of Vineyard Sound. **Mar. Bio.**, 19, p.69-73, 1973.

ZILLMANN, S.M.S. Distribuição sazonal do fitoplâncton na radial entre Ilha Anchieta e Ilha da Vitória (Lat. 23⁰31' S-Long. 45⁰06' W a Lat. 45⁰31' S – Long. 45⁰01' W) na região de Ubatuba, São Paulo. Instituto Oceanográfico, 1990.