

Sensoriamento Remoto do Campo de Concentração de Clorofila-a na Região da Costa Central do Brasil

Mára Regina Labuto Fragoso da Silva, DSc.
Universidade Federal do Espírito Santo

Resumo

Este documento aborda o trabalho da área de Sensoriamento Remoto do Score Central para o Programa REVIZEE com relação à estimativa do campo de concentração de clorofila-a utilizando imagens adquiridas pelo satélite OrbView-2. São descritos os processos de aquisição e preparação das imagens, a metodologia utilizada para análise e exibição das imagens, os resultados obtidos, e tecidas algumas considerações quanto ao uso do Sensoriamento Remoto como uma poderosa ferramenta para esta medição oceanográfica.

Abstract

This document deals with the work of the Central Score Remote Sensing area for REVIZEE Programme, concerned on the chlorophyll-a estimation, using images acquired from OrbView-2 satellite. It describes proceedings on images acquisition and preparation, the methodology used for image analysis and exhibition, results and some considerations in respect to Remote Sensing as a powerful tool for this oceanographical measurement.

Palavras-chave

1. Satellite Oceanography
2. Remote Sensing
3. Ocean color
4. Sensoriamento Remoto
5. Clorofila-a

Siglas e Abreviaturas

CB - Corrente do Brasil

CZCS - Coastal Zone Color Scanner

DAAC - Distributed Active Archive Center

FURG – Fundação Universidade do Rio Grande
GAC - Global Area cover
GPS – Satélite de Posicionamento Global
HRPT- High Resolution Picture Transmission
INPE – Instituto nacional de Pesquisas espaciais
LAC - Local Area Cover
NASA – National Aeronautics and Space Administration
SeaWiFS - Sea-viewing Wide Field-of-viewSensor
TSRB - Tethered Spectral Radiometer Buoy

Introdução

O Dr. Charles F. Kennel, em seu discurso de abertura do Fifth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, realizado em outubro de 1998 em San Diego, EUA (KENNEL, C. F.,1998), inicia com o seguinte texto:

"A mudança no planeta Terra é o resultado de forças externas, assim como as mudanças na órbita da Terra em torno do Sol; eventos internos, incluindo erupções vulcânicas ou terremotos; e atividades humanas, que foram elevadas a uma força geológica. Para compreender o caminho de evolução da Terra e distinguir entre as causas de mudanças na Terra, as observações devem ser feitas em escala global. Nós somos privilegiados por viver em uma extraordinária era de pesquisa científica. Nós temos as ferramentas para perceber as dimensões das mudanças planetárias e os meios computacionais de interpretar e prever as mudanças futuras.

O sensoriamento remoto por satélite permite vistas sinóticas em larga escala das características da Terra, em tempo real, possibilitando aos cientistas observar e analisar as interações biológicas, químicas e físicas em uma escala global. Desde que as primeiras imagens do Planeta Azul foram transmitidas, os dados de satélite se tornaram uma parte essencial da ciência do oceano...."

Conforme citado no Programa REVIZEE (apud SILVA, M. R. L. F., 1997):

"...deverá ser objeto de atenção o emprego do Sensoriamento Remoto capaz de fornecer informações sobre... produtividade primária comparadas às observações "in situ"."

"...Durante a execução do projeto REVIZEE deverão ser coletados dados dos sensores... SeaWIFS para a determinação das propriedades bio-ópticas da coluna d'água (constituintes da água do mar: clorofila e feopigmentos, material em suspensão, substâncias amarelas e irradiância espectral)... "

Portanto, de acordo com o acima citado, procedeu-se ao Sensoriamento Remoto do Campo de Concentração de Clorofila-a na Região da Costa Central do Brasil definida pelo projeto REVIZEE (Score Central) usando o sensor SeaWIFS do satélite OrbView-2 no período entre 1997 e 2000.

Metodologia de Análise

Área de Estudo

A área de estudo para as imagens SeaWIFS compreendeu o retângulo definido por: latitude entre 12 - 23° S e longitude entre 28 - 49° W, descrita no Programa REVIZEE para o Score Central. A área de abrangência desse estudo, portanto correspondeu a ZEE desde Salvador (BA) até o Cabo de São Tomé (RJ), incluindo o Arquipélago dos Abrolhos e os bancos submersos da Cadeia Vitória-Trindade.

Muito pouco se sabe sobre a variabilidade temporal e espacial da abundância do fitoplâncton e da produtividade primária nessa região da costa Brasileira. De acordo com CIOTTI (2001), os poucos estudos existentes (BRANDINI ET AL., 1997; EKAU AND KNOPPERS, 1999) enfatizam a sua natureza oligotrófica devido à influência direta da Corrente do Brasil (CB). Esta região apresenta baixas concentrações de clorofila e taxas de produção primária reduzidas. Até o momento, essa região representa a menos produtiva em pesca no Brasil (PAIVA, 1997), cujas capturas são na maioria compostas de espécies bentônicas associadas aos recifes de coral sobre os bancos. A presença de meandros e vórtices da CB, juntamente com as mudanças drásticas em topografia devido aos bancos submersos podem criar mudanças na hidrografia, capazes de alterar esse padrão. A CB, que flui em direção ao sul ao longo da estreita plataforma continental ao Norte da região de estudo, diminui sua velocidade média ao chegar na altura dos bancos de Abrolhos e da cadeia Vitória-Trindade (PETERSON AND STRAMMA, 1991; EKAU AND KNOPPERS, 1999). A partir de 20° e 30°S, existem vários

meandros e vórtices que se formam associados a CB (GARFIELD, 1990). Alguns desses vórtices são semi-permanentes, tais como o vórtice ciclônico Vitória, localizado em média imediatamente ao sul da cadeia Vitória –Trindade Ridge (SCHMID ET AL., 1995). Outro vórtice derivado da CB e também semi-permanente está associado ao Cabo de São Tomé (22°S/41°W, STECH ET AL., 1996). A porção mais ao sul da região de estudo é influenciada pela região de ressurgência costeira de Cabo Frio (VALENTIN ET AL., 1987; VALENTIN AND COUTINHO, 1990; GONZALEZRODRIGUEZ ET AL., 1992; GONZALEZRODRIGUEZ, 1994), que se torna mais predominante durante os meses de verão devido aos ventos favoráveis de E-NE.

Existem também algumas publicações relatando maiores biomassas planctônicas sobre os bancos submarinos (devido ao chamado efeito ilha), na sua maioria em sub-superfície (referências em BRANDINI ET AL., 1997). Todavia, estes estudos são restritos em tempo e espaço e alguns resultados, como o de DIAS (1996), não mostram aumento substancial na abundância de copépodos próximo aos bancos (no inverno). Isso pode ser uma indicação de que os efeitos induzidos pela topografia, se ocorrerem, devam ser episódios e/ou que possuem pequena escala espacial. GAETA ET AL. (1999) mostraram, em estudos realizados no outono, que no interior do vórtice de Vitória, tanto as concentrações de clorofila como as taxas de produção primária foram cerca de duas vezes maiores que daquelas ao redor do vórtice, devido ao aumento substancial na abundância da cianobactéria *Synechococcus* sp. (SUSINI-RIBEIRO, 1999).

Faixa espectral

O Sensoriamento Remoto espacial se fundamenta em medidas da radiação eletromagnética que chegam a um sensor a bordo de um satélite e podem caracterizar o estado ou inferir propriedades do mar. A escolha das faixas espectrais a serem utilizadas depende do espectro da transmissão atmosférica e da aplicação. Para a estimativa do campo de concentração de clorofila-a utilizam-se as faixas espectrais nos comprimentos de onda da luz visível (entre 400 - 700nm) que fornecem a cor do oceano.

Satélite, Sensor e Amostras de Campo

Os seguintes dados foram utilizados:

- Dados de imagem do satélite Orbview-2 com o sensor SeaWiFs. O projeto OrbView-2/SeaWiFs, anteriormente denominado SeaStar, foi estabelecido no final de 1997 pela NASA. Trata-se de uma missão de parceria pública-privada entre a NASA e a Orbital Sciences Corporation e, por essa razão, o acesso a esses dados é limitado a usuários autorizados para usos científicos. Os dados são armazenados e distribuídos pelo Goddard Distributed Active Archive Center (DAAC).

O SeaWiFS é um radiômetro que tem 8 bandas centradas em 412, 443, 490, 510, 555, 670, 765 e 865 nanômetros. Existem dois tipos distintos de dados SeaWiFS distribuídos: LAC (Local Area Coverage) e GAC (Global Area Coverage). A classificação de seus dados é dada em níveis, sendo: o Nível 1 referente às radiâncias medidas pelo satélite, dados de calibração e navegação, e algumas telemetrias do instrumento e do veículo; o Nível 2 produtos calculados a partir das radiâncias corrigidas pelos efeitos da atmosfera (dentre esses, a concentração de clorofila); o Nível 3 referente às médias espaciais e/ou temporais dos produtos geofísicos do Nível 2. Neste trabalho foram usados dados LAC e GAC do Nível 2.

Os dados LAC têm cerca de 1,13 km de resolução e estão disponíveis apenas onde existem estações receptoras no modo High Resolution Picture Transmission (HRPT), já que esses dados não são armazenados pelo instrumento, mas continuamente enviados à superfície.

Os dados GAC (Global Area Coverage) são obtidos com aproximadamente 4,5 km de resolução sobre a maior parte dos oceanos e são diariamente gravados a bordo do satélite. A resolução das imagens GAC depende das variações de altitude orbital e da inclinação do sensor. Para região do Score Central, a resolução é de cerca de 4,94 km. Assume-se, portanto, que cada pixel de uma imagem GAC representa 5 km.

- Amostras de campo: de 28 de março a 2 de maio de 2000, 108 estações oceanográficas foram amostradas na área de estudo (Anexo 1). O cruzeiro foi executado em 3 pernadas a bordo do navio Astro Garoupa da Petrobrás. Em cada estação foram efetuados perfis verticais com um CTD e coletas de água em superfície e algumas profundidades para análise de clorofila. Durante a terceira perna, foi utilizada uma bóia radiométrica TSRB (Tethered Spectral Radiometer Buoy, Satlantic Inc., cortesia da FURG) que mede radiância emergente dos oceanos nos mesmos comprimentos de onda visíveis que o sensor SeaWiFs (412, 443, 490,

510, 555, 670 nanômetros) a uma profundidade de 0,5 metro e mede também a irradiância incidente na superfície em 490 nanômetros. A bóia foi lançada em todas as estações possíveis, dependendo das condições de luminosidade e do estado do mar. Cada amostragem com a bóia TSRB foi monitorada com um GPS e levou aproximadamente 15 minutos, com dados sendo registrados a 6 Hz. A bóia foi mantida a uma distância de 30 metros da embarcação para evitar sua sobra, e o navio foi mantido em posição durante cada lançamento. Os dados foram calibrados com coeficientes recentes (fornecidos em julho de 2000 pelo fabricante) e de cada lançamento foram computadas medianas de cada 5 minutos para minimizar os efeitos das ondas. Um espectro único para cada estação foi escolhido, representando os 5 minutos centrais de cada lançamento. Para comparação com os dados espectrais do sensor SeaWiFs, os dados da TSRB foram convertidos para que tivessem as unidades das radiâncias emergentes do oceano normalizadas ($nL_w(\lambda)$ em unidades $\mu W \text{ cm}^{-2} \text{ nm}^{-1} \text{ sr}^{-1}$, ver detalhes dessa conversão em CIOTTI ET AL., 2000). As amostras de clorofila nas estações que houveram lançamentos com a TSRB foram gentilmente cedidas por Rodolfo Paranhos e representam apenas valores da superfície.

Em algumas estações foram retiradas amostras para medidas de absorção da luz pelo fitoplâncton, também apenas em superfície. Para essa medida, cerca de 3 a 4 litros foram filtrados em filtros de fibra de vidro GF/F de 25 mm de diâmetro (cortesia da FURG). As amostras, retiradas em triplicata, foram então armazenadas em nitrogênio líquido até sua análise. Em laboratório, os filtros foram umedecidos com 250 μ l de água do mar filtrada e lidos em espectrofotômetro Perkin Elmer Lambda 20 (valores entre os comprimentos de onda de 300 a 800 nm) usando-se como referência um filtro limpo do mesmo lote usado para as amostras. A leitura dos filtros segue os métodos determinados por YENTSCH (1962) e modificados por MITCHELL AND KIEFER (1983). Após as leituras, os filtros (incluindo os brancos) foram recolocados em sistema de filtração e cerca de 25 ml de metanol P.A. 100% foram adicionados cuidadosamente sobre os mesmos para a extração dos pigmentos (KISHINO ET AL., 1985) sem alteração na distribuição das partículas sobre os filtros. O sistema de filtração foi deixado em repouso por 30 minutos, e o metanol foi eliminado por pressão reduzida. Os filtros foram lavados com 50 ml de água nanopura (da mesma maneira que a feita para o metanol), eliminando-se assim os pigmentos hidrófobos e hidrófilos (veja ROESLER AND PERRY, 1995). Os filtros extraídos foram lidos novamente em espectrofotômetro como descrito acima.

A absorção da luz pelos filtros extraídos representa aquela dos detritos, e a diferença entre a absorção medida inicialmente (totais particulados) e após a extração representa a absorção pelo fitoplâncton, que é expressa em m^{-1} , após levar-se em conta o volume filtrado e a área no filtro ocupada pelo material.

Conversão Sensor-TSM

As medidas de cor do oceano por satélite, ou radiação emergente, representam uma integração dos processos ópticos que ocorrem na primeira camada óptica, ou seja, aquela em que a irradiância solar é atenuada para cerca de 30% do valor incidente na superfície. O sensor de cor aqui utilizado (SeaWiFs) coleta medidas radiométricas em oito comprimentos de onda (412, 443, 490, 510, 555, 670, 765 e 865 nanômetros). Essas medidas por sua vez são corrigidas e calibradas para expressar quantidades exatas. A principal correção usa os valores das bandas do infravermelho próximo (765 e 865 nanômetros) e de uma série de modelos matemáticos que simulam as características ópticas dos aerossóis (WANG AND GORDON, 1994; WANG, 1999), e que são selecionados iterativamente. Esses cálculos complexos estimam as propriedades ópticas dos componentes da atmosfera nesses comprimentos de onda, e por extrapolação, possibilitam que os sinais nas bandas da luz visível possam ser corrigidos e expressos como radiação emergente nos oceanos. A correção se utiliza também de dados meteorológicos para a estimativa da atenuação da luz pelo ozônio, vapor de água, etc. De uma maneira geral, os valores corrigidos, isso é, os valores referentes à luz emergente na superfície dos oceanos, são menos de 10% do valor medido pelo satélite, daí a importância de uma correção adequada. A luz do sol ao chegar na superfície dos oceanos é modificada por seus componentes dissolvidos e particulados. Em águas afastadas de aportes continentais, além da absorção da luz pelas próprias moléculas de água, o componente óptico mais importante é o fitoplâncton, que altera a qualidade espectral da luz pelos efeitos de absorção de seus pigmentos, dos quais o mais importante é a clorofila-a (por simplicidade nos referiremos a mesma como simplesmente clorofila de agora em diante). A clorofila absorve fortemente os comprimentos de onda na região azul do espectro e tem pouco efeito na região do verde (KIRK, 1994). Por causa disso, as relações que estimam a concentração de clorofila a através da cor dos oceanos usam uma razão entre bandas do azul e do verde, de maneira que em águas onde a abundância de fitoplâncton é baixa essa razão é elevada, e vai gradativamente diminuindo conforme a concentração de clorofila aumenta. Os modelos numéricos que relacionam os dados radiométricos e

a concentração de clorofila usam geralmente expressões empíricas derivadas de medidas "in situ". A mais usada no momento é uma expressão polinomial relacionando as bandas de 490 e 555 nanômetros (O'REILLY ET AL., 1998A), e é conhecida como algoritmo C4.

Banco de Imagens

- Imagens LAC. No Brasil, existiam apenas 2 estações receptoras: uma na Fundação Universidade do Rio Grande (FURG) operando desde o final de 1997 e outra no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que iniciou suas operações em Julho de 2000. Infelizmente, apenas a antena do INPE tinha uma área de cobertura que incluía a área de estudo do Score Central do Revizee, e portanto, só puderam ser utilizadas as imagens LAC a partir de 2000. Durante períodos específicos, existe a possibilidade de um número reduzido de imagens LAC serem gravadas a bordo caso a área de estudo em questão não esteja coberta por nenhuma antena. Nesse projeto, obtivemos algumas passagens LAC durante as amostras de campo realizadas entre abril e maio de 2000.
- Imagens GAC. O projeto SeaWiFS distribuiu dados Nivel 2 (clorofila) apenas na resolução GAC. Esses dados são periodicamente reprocessados conforme os modelos de correção atmosférica e novos algoritmos para aprimoramento da estimativa de clorofila. Nesse estudo, utilizou-se a versão 3 desses resultados que correspondia a mais atual disponível na época e que foi distribuída a partir de junho-julho de 2000. As imagens GAC de Nivel 2 diárias foram adquiridas pelo GSFC's Distributed Active Archive Center (DAAC) da NASA, cobrindo o período entre outubro de 1997 a dezembro de 2000. Foram realizadas médias semanais de acordo com o agrupamento mostrado no Anexo 2.

Processamento das Imagens GAC

Essas imagens já continham a concentração de clorofila como produto padrão e dados mascarados para terra e nuvens. O processamento das imagens foi feito com o programa SEADAS versão 4.0 executado em workstation Solaris no Departamento de Sensoriamento Remoto (INPE). O processamento consistiu em:

- Recorte de cada imagem dentro dos limites de Longitude de 44 a 28 graus Oeste e de Latitude de 12 a 24 graus Sul;
- Mapeamento de cada imagem seguindo a projeção cilíndrica padrão e gradeamento geográfico, de maneira que cada pixel da imagem representa uma área de 5 km (posições fixas em latitude e longitude independentes da passagem do satélite);
- Eliminação das imagens que não continham dados devido a cobertura de nuvens ou passagem do satélite não adequada para área de estudo;
- Cálculo das médias semanais de clorofila computadas pixel a pixel para o período de estudo, segundo agrupamento mostrado no Anexo 2. Estudos preliminares (CIOTTI ET AL., 2000) com as primeiras imagens GAC mostraram que a cobertura de nuvens é um fator limitante para a região de estudo, já que obtivemos em média 1 imagem por semana com cobertura superior a 40%. Portanto foi necessário representar a base de dados como médias. Para tanto, assume-se que não existe variabilidade significativa na concentração superficial de clorofila dentro de uma semana e, portanto, desconsidera-se qualquer evento em menor período. Mesmo apresentados como valores absolutos, esses dados devem ser interpretados e utilizados em termos de sua variabilidade relativa no tempo e no espaço, já que não se possui uma base de dados extensa para a validação dos dados absolutos.

Processamento das Imagens LAC

As imagens LAC foram adquiridas diariamente pela antena e estação receptora HRPT do INPE desde Agosto de 2000. Poucas foram as imagens que ilustraram uma boa porção da área de estudo devido à cobertura de nuvens, e, portanto, essas imagens têm maior relevância para o estudo de processos em menor escala espacial. As imagens foram recebidas em modo "delayed" (após um período de 15 dias de sua gravação) pela NASA, que disponibilizou um código ou chave numérica para a decodificação das mesmas. Uma vez decodificadas, as imagens foram levadas de Nível 0 até Nível 1A utilizando-se o programa SWL01, distribuído gratuitamente pela NASA, executado em workstation Solaris no Departamento de Sensoriamento Remoto (INPE). As imagens Nível 1A foram levadas a Nível 2 (onde a concentração de clorofila é um dos produtos) utilizando-se o programa Seadas

4.0 com algoritmos e máscaras padrão, e dados meteorológicos e de concentração de ozônio correspondentes ao dia de aquisição da imagem, distribuídos pelo Distributed Active Archive Center (DAAC). As imagens processadas a Nível 2 foram então recortadas e mapeadas como descrito para as imagens GAC acima. A única diferença foi na escala espacial, que assumiu cada pixel com 1 km de área. Não foram calculadas médias semanais para as essas imagens. Durante o cruzeiro científico do REVIZEE, realizado em 2000, antes do funcionamento da estação receptora no INPE, o Goddard Space Flight Center gravou algumas passagens LAC sobre a área do cruzeiro. Essas passagens corresponderam a 30 segundos da gravação, o que equivale a aproximadamente 200 km (cerca de 2 graus) na direção latitudinal da passagem ("along track"). Esses dados foram distribuídos como Nível 1A, e foram processados para Nível 2 como descrito acima.

Resultados

Em áreas remotas, como a da cadeia Vitória-Trindade e os bancos oceânicos, uma cobertura temporal e espacial das características físicas e biológicas utilizando observações convencionais de campo se torna complicada pelo alto custo e demora no retorno de informação. Imagens de satélite permitem a visão sinóptica da região de estudo com uma frequência temporal mais adequada e a um baixo custo.

Todavia, ressalta-se que os dados de Sensoriamento Remoto do campo de concentração de clorofila-a representam apenas as águas superficiais, ou seja, os acréscimos de abundância fitoplanctônica em sub-superfície não são detectados, É importante lembrar que existem limitações nas estimativas de clorofila, quer por inadequação dos modelos numéricos utilizados para o seu cálculo através da cor do oceano, quer pela interferência de outros componentes opticamente ativos presentes na atmosfera e na água do mar (e.g., matéria orgânica dissolvida e particulada, sedimentos, etc.). Desta forma, uma etapa fundamental dessa análise foi a comparação desses resultados com dados "in situ" coletados durante os cruzeiros. Devido ao número reduzido de amostras para a validação, todavia, os resultados aqui apresentados devem ser interpretados preferencialmente em sua variabilidade relativa e não em seus valores absolutos.

Cor do oceano e absorção da luz pelo fitoplâncton

As medidas com a bóia radiométrica foram feitas em 16 estações. Observa-se que o espectro de radiância emergente normalizada em cada estação (Anexo 3a) revela as águas oceânicas caracteristicamente azuis, e sugere também alguma mudança espectral nas estações sobre os bancos submersos, com a diminuição dos valores na região do azul. As mudanças nos espectros podem ser quase totalmente explicadas pela maior contribuição do fitoplâncton na absorção da luz, que pode ser devido tanto a mudanças em abundância do fitoplâncton como devido a mudanças nas características de absorção das comunidades presentes (pigmentação ou tamanho das células). Para verificar a variação espectral da absorção da luz pelo fitoplâncton, cada espectro foi normalizado (dividido) pelo valor médio de absorção entre 400 e 700 nanômetros. Esse procedimento é geralmente usado para eliminar as variações devido à mudanças em abundância do fitoplâncton entre as diferentes estações. Essas medidas de absorção da luz pelo fitoplâncton não mostraram variações significativas no espectro das estações (Anexo 3b), e se mostraram como típicos de regiões oligotróficas, indicando que as comunidades de fitoplâncton não são muito distintas em termos de pigmentação e de tamanho celular, àquelas das águas ao redor.

Comparação entre estimativas de clorofila e dados de campo

A comparação entre os dados de satélite e aqueles "in situ" foi feita em duas etapas. A primeira relacionou os dados radiométricos medidos com a bóia TSRB e aqueles medidos pelo satélite durante o cruzeiro de 2000 no mesmo dia, para uma verificação preliminar das correções atmosféricas sobre a nossa área de interesse. De cada imagem LAC foram retirados os dados radiométricos de todas as bandas no visível, de acordo com a posição da estação. Apenas 4 estações puderam ser comparadas (Anexo 4a), devido a cobertura de nuvens impossibilitar as medidas do satélite nas restantes. A comparação dos espectros usou as medianas dos 5 minutos centrais de cada lançamento da bóia e a média de uma janela de 9 pixels (janela de 3 por 3) das imagens LAC, centrada na posição da estação, para minimizarmos erros associados à navegação das imagens (isto é, ao posicionamento de cada pixel, devido a variações da elevação do sensor em relação à área observada). Os dados estão bem correlacionados, exceto na estação 92. Na verdade, esta estação se encontrou quase no limite da passagem do sensor, e portanto não podemos afirmar se a razão dessa diferença se deve a erros na correção atmosférica ou se deve a erros no sinal. Apesar

de nada conclusivo, esse resultado sugere que as correções atmosféricas aplicadas nas imagens são adequadas para essa região e época do ano.

A segunda verificação foi feita para o algoritmo de clorofila, que foi computado com os valores radiométricos obtidos diretamente pela bóia, e portanto, são independentes da correção atmosférica. Esses resultados apenas indicam a relação entre o algoritmo C4 (aquele usado nas imagens (O'REILLY ET AL., 1998A)) e as medidas "in situ". Nota-se que existe uma boa correlação entre os dados e os valores estimados pelo algoritmo (Anexo 4b). Se compararmos a concentração de clorofila corrigida pelos valores de feopigmentos, os valores estimados são cerca de 30% maiores (regressão linear forçada à origem rende um coeficiente de determinação R^2 igual a 0,51). Se compararmos os valores não corrigidos, isso é, a concentração de clorofila mais feopigmentos, os valores estimados foram cerca de 17% menores (regressão linear forçada à origem rende um coeficiente de determinação R^2 igual a 0,68). Isso era de certa forma esperado, já que em águas oligotróficas as comunidades fitoplanctônicas podem ser dominadas por espécies procariotas contendo elevadas concentrações relativas de clorofila-b, que por sua vez interfere na determinação de clorofila, subestimando-a (MANTOURA ET AL., 1997). Esses resultados indicam portanto que o algoritmo usado nas imagens é adequado para a região de estudo para essa época do ano, caso a correção atmosférica nas imagens esteja correta. Mas torna-se óbvio que necessitamos de um número maior de dados.

Uma outra comparação foi feita entre os dados de clorofila medidos em superfície e os dados GAC semanais de satélite obtidos durante os cruzeiros realizados em 1998 e 2000 (dados de clorofila "in situ" gentilmente cedidos por Rodolfo Paranhos). É importante que se enfatize que essa verificação seja interpretada com cautela. A comparação entre dados "in situ" e valores de satélite devem seguir uma série de cuidados, que incluem coletas em horários apropriados e ausência de nuvens. O nosso objetivo foi comparar quantitativamente em quanto nossas estimativas semanais diferiam das amostras coletadas "in situ", caso pudéssemos assumir que não ocorriam variações significativas na concentração superficial de clorofila dentro do período de uma semana. Para tanto, as amostras dos cruzeiros foram comparadas com os pixels computados para cada estação, seguindo as datas indicadas no Anexo 2. CIOTTI, A. M. (2001) demonstrou que os dados seguiram uma boa tendência e usando-se um modelo linear forçado à origem com coeficientes muito próximos a 1 para os cruzeiros (exemplo no Anexo 5). A dispersão dos pontos foi razoavelmente

elevada, mas considerando todas as fontes de erros, esse resultado foi bastante animador, e indicou que pode-se considerar a variabilidade temporal e espacial dos resultados com certa confiança.

Variação sazonal das estimativas de clorofila a superficial

CIOTTI, A. M. (2001) apresenta os dados sazonais de clorofila estimada na superfície de acordo com as datas fixadas no Anexo 2 e a localização das estações mostrada no Anexo 1. Um exemplo dos gráficos gerados é apresentado no Anexo 5. A evidência mais marcante foi o padrão sazonal seguido na maioria das estações tanto costeiras como oceânicas na porção mais ao sul da região de estudo: menores concentrações no verão; um aumento no outono; máximos no inverno; e nova queda na primavera. Mais ao norte, esse padrão sazonal diminuiu e apenas as estações mais costeiras apresentaram variabilidade significativa com a estação do ano, embora não seguissem necessariamente o mesmo padrão. Notou-se também que os valores máximos foram mais elevados no segundo inverno, que representou o ano de 1999, indicando uma variação interanual. A cobertura por nuvens foi especialmente elevada nos últimos meses de 1998, onde mesmo as médias semanais não possuíam um número razoável de pixels com dados, o que provavelmente influenciou os resultados.

A comparação de algumas das imagens (Anexo 6) mostrou algumas das feições de clorofila esperadas, e uma relação estreita entre profundidade local e a concentração de clorofila estimada, principalmente durante os meses de inverno. Na região de plataforma continental, especialmente em Abrolhos, essa variação sazonal foi observada durante os três anos observados. As águas oceânicas também respondem a uma variação sazonal, que provavelmente refletem diferenças em irradiância e em temperatura superficial. Esses efeitos vem sendo investigados por MADRUGA ET AL. (2001).

Em termos das feições de mesoescala como os vórtices de Vitória e Cabo de São Tomé, os mapas de clorofila semanais evidenciaram a última como sendo uma área bastante dinâmica apresentando concentrações de clorofila estimada elevadas durante todo o ano. CIOTTI AND KAMPEL (2001) descrevem o desenvolvimento de um vórtice na região do Cabo de São Tomé através dos sinais de temperatura superficial. Num período de 4 dias, o diâmetro do meandro aumentou cerca de 50%, com o seu centro tendendo a mover em direção à costa. Tanto a temperatura como a concentração estimada de clorofila na região central do vórtice tenderam a ficar aproximadamente

constantes. Sinais mais substanciais de clorofila foram observados na periferia do vórtice. Mais marcante foi o rápido e extenso sinal de clorofila associada à intrusões de águas mais frias na região de quebra da plataforma (cerca de 120 km de extensão), sugerindo que alguns processos em menor escala temporal, e de mesoescala espacial, possam ter um impacto importante na produção biológica da região.

Variação semanal sobre os bancos

Observou-se nos mapas semanais, de maneira geral, um claro aumento no sinal de clorofila estimada (em cerca de 2 a 3 vezes maior que nas águas ao redor) na região imediatamente sobre os bancos submersos, em geral mais evidente nos meses de inverno. As variações semanais sobre os pontos amostrados nas imagens, correspondendo às posições das estações durante as campanhas (mostrados em CIOTTI, A. M. (2001)), indicaram que, além da leve variação sazonal observada nas regiões oceânicas, os pontos imediatamente sobre alguns dos bancos (Vitória, Hotspur, Jaseur e Davis) apresentaram concentrações de clorofila elevadas entre as semanas 18 a 34 de cada ano (outono – inverno). Em alguns momentos, esses aumentos parecem ser episódicos, mas em geral, se apresentam como uma resposta adicional à variação sazonal já observada. O Anexo 7 ilustra o comportamento sobre o banco de Vitória.

Imagens LAC durante o cruzeiro em 2000

Como dito anteriormente, a cobertura de nuvens é um problema para a região, e foi alta durante a maior parte da terceira pernada do cruzeiro de 2000. Os dados de temperatura superficial por satélite não ilustraram feições térmicas sobre os bancos, mas alguns valores mais frios associados ao sul, na região de ressurgência de Cabo Frio, e alguns vórtices foram observados em torno de Cabo de São Tomé. As variações de clorofila estimada sobre a região dos bancos também não foram visíveis no início do cruzeiro (Anexo 8). Todavia, ao final da campanha, as concentrações estavam significativamente maiores (Anexo 8). Isso colabora com o observado anteriormente nas imagens GAC, que mostra aumentos significativos de clorofila nos bancos a partir da semana 18, que corresponde a final de abril e começo de maio.

Um sumário das áreas de maior abundância de fitoplâncton na região do Score central é apresentada no Anexo 9, que representa uma média de 15 dias em imagens LAC, no final de Agosto.

Discussão

Um problema surgido foi o reprocessamento das imagens SeaWiFs pela NASA devido à mudanças implementadas nos algoritmos e correções. Houve a necessidade de se readquirir as imagens anteriormente já processadas e que se tornaram disponíveis apenas em julho de 2000. Outro problema foi o início da recepção pelo INPE que se deu somente em agosto de 2000.

As características ópticas do fitoplâncton não possibilitam determinar apenas sua abundância através da cor do oceano. Muitos processos da ecologia do fitoplâncton, como a estrutura da comunidade (composição específica), características fisiológicas (controladas pela disponibilidade de luz e nutrientes) interações com outros níveis tróficos (zooplâncton), de uma maneira direta ou indireta, irão modificar a cor do oceano. Em áreas afastadas como aquelas sobre os bancos oceânicos, uma cobertura temporal e espacial adequada dos processos físicos e biológicos só pode ser obtida através de sensoriamento remoto. Torna-se necessário, portanto, criar uma base de dados consistente e facilmente comparável aos dados coletados "in situ".

Apesar de um número reduzido de dados para comparação, esse trabalho indicou que:

- Existe uma variação espectral da luz emergente sobre os bancos devido a um acréscimo da absorção da luz pelo fitoplâncton;
- Os algoritmos para clorofila e correções atmosféricas pareceram adequados para a região na época do cruzeiro de 2000;
- As características de absorção da luz pelo fitoplâncton sugerem que a comunidade sobre os bancos não diferem significativamente das águas ao seu redor em termos de pigmentação e tamanho celular. Isto sugere que os processos físicos e químicos que levam ao aumento de biomassa sobre os bancos propiciam um acúmulo de células de características oligotróficas e não processos que promovam o desenvolvimento de comunidades planctônicas distintas. Este fato confirma o observado por DIAS (1996) e por SUSINI-RIBEIRO (1999), sugerindo que esses aumentos em biomassa de fitoplâncton favorecem a produção primária regenerada, e, portanto, sem impacto no suporte de espécies de peixes com interesse comercial. Todavia, os processos de enriquecimento biológico em regiões de bancos estão ligados aos fluxos das águas em superfície, e, portanto, dependem

em parte das condições de ventos locais (HEYWOOD ET AL., 1990). Dessa forma, se esses efeitos forem episódicos, devem ser acompanhados não apenas com dados de satélite de cor e temperatura superficial, mas também por estimativas de vento e fluxos superficiais para que se possa quantificar o impacto dos bancos na produtividade biológica local corretamente.

- A análise de imagens semanais possibilitou uma visão em alta frequência da variação biológica na região. As comparações com dados "in situ" indicaram que as tendências ilustradas pelos mapas de clorofila seguiram linearmente os dados de campo. As análises sazonais de alguns pontos selecionados nos mapas, correspondendo às estações amostradas nos cruzeiros, ilustrou os aumentos em atividade biológica nos meses de outono, com máximos no inverno. Isso pode estar relacionado à vários processos físicos de manutenção do fitoplâncton e/ou nutrientes na zona eufótica, como também processos biológicos de foto-inibição ou aumento de pastagem pelo zooplâncton.
- As análises das imagens também ilustraram a importância de processos rápidos de enriquecimento de biomassa fitoplanctônica em zonas de ressurgência na quebra de plataforma continental mais ao sul da região de estudo. Esses processos devem ser melhor estudados no futuro, juntamente com o impacto dos vórtices na região do Cabo de São Tomé.

Ainda são poucos os trabalhos desenvolvidos no Brasil que se beneficiaram da base de dados gerada pelos sensores remotos da cor do oceano. GONZÁLES (1994) através de simulações, concluiu que modelos regionais de produção primária utilizando dados de satélite necessitam de ajustes provenientes de um melhor conhecimento dos parâmetros fotossintéticos do fitoplâncton. MADRUGA (1997) utilizando-se de dados do sensor Coastal Zone Color Scanner (CZCS, que funcionou de 1978 a 1986) mostrou que a performance de algoritmos para a clorofila a podem ser comprometidos em regiões de plataforma devido a discrepâncias nas correções atmosféricas geradas pela presença de sedimentos ou altas concentrações de clorofila. Posteriormente, uma base de dados radiométricos "in situ" e de clorofila-a medida em superfície permitiu o desenvolvimento de uma série de algoritmos empíricos regionais para estimativas de clorofila (OMACHI, 1999; OMACHI AND GARCIA, 2000). Portanto, sugere-se que essas comparações e estudos devam ser continuados em futuros programas amostrais na região.

O Sensoriamento Remoto do Campo de Concentração de Clorofila-a segue basicamente 3 procedimentos principais para a geração de produtos de relevância à oceanografia:

1) modelos estatísticos empíricos ou semi-empíricos, relacionando o valor observado a duas ou mais bandas de radiância emergente (GORDON AND MOREL, 1983; O'REILLY ET AL., 1998B, CARDER ET AL., 1991; DOERFFER AND FISCHER, 1994; ABBOTT AND LETELIER, 1998; CARDER ET AL., 1999; CIOTTI ET AL., 1999);

2) técnicas de modelagem inversa que relacionam a contribuição das diferentes substâncias coloridas e refrativas à expressões teóricas (SATHYENDRANATH ET AL., 1989; DOERFFER AND FISCHER, 1994; ROESLER AND PERRY, 1995; GARVER AND SIEGEL, 1997) usando curvas espectrais fixas para cada um dos componentes relevantes, e um ajuste estatístico entre as magnitudes dessas curvas e os dados observados;

3) técnicas de modelagem usando redes neurais, relacionando os dados observados a uma base de referência ou de treinamento (KEINER AND BROWN, 1999; GROSS ET AL., 2000; HEINEMANN AND FISCHER, 2000).

Todos esses procedimentos podem ser empregados assim que se obtiver uma base de dados que permita validar os dados de satélite adequadamente.

Considera-se o presente trabalho, portanto, uma ferramenta útil no estudo da variabilidade do campo de concentração de clorofila-a.

Referências Bibliográficas

ABBOTT, M.R. AND R.M. LETELIER, 1998, "Decorrelation scales of chlorophyll as observed from bio-optical drifters in the California Current. Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography", 45(8-9): 1639-1667.

BRANDINI, F.P., R.M. LOPES, K.S. GUTSEIT, H.L. SPACH AND R. SASSI, 1997, "Planctonologia na Plataforma Continental do Brasil. Diagnose e Revisão Bibliográfica", 1: 196p.

CARDER, K.L., F.R. CHEN, Z.P. LEE, S.K. HAWES AND K. D., 1999, "Semianalytic Moderate-Resolution Imaging Spectrometer algorithms for chlorophyll a and absorption

with bio-optical domains based on nitrate-depletion temperatures', *Journal of Geophysical Research*, 104: 5403-5421.

CARDER, K.L., S.K. HAWES, K.A. BAKER, R.C. SMITH, R.G. STEWARD AND B.G. MITCHELL, 1991, "Reflectance model for quantifying chlorophyll a in the presence of productivity degradation products", *Journal of Geophysical Research*, 96(C11): 599-611.

CIOTTI, A.M., 2001, "Variação espacial e temporal da cor do oceano na região central da costa Brasileira", *Relatório Final Bolsa DTI-REVIZEE*, 45p.

CIOTTI, A.M. AND M. KAMPEL, 2001, "Concurrent Observations of Ocean Color and Sea Surface Temperature between Cabo Frio e Cabo São Tomé", *X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Foz do Iguaçu, Brasil.

CIOTTI, A.M., J. VALENTIN, M.R.L.F. SILVA, J.A. LORENZZETTI AND V.M.T. GARCIA, 2000, "Temporal variability of ocean color in the vicinity of the Vitoria-Trindade submersed sea mounts (Brazil)", *Ocean Optics XV*, Monaco.

CIOTTI, A.M., J.J. CULLEN AND M.R. LEWIS, 1999, "A semi-analytical model of the influence of phytoplankton community structure on the relationship between light attenuation and ocean color", *Journal of Geophysical Research* 104(C1): 1559-1578.

DIAS, C.D., 1996, "Copepods of the east coast of Brazil", *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, 39(1): 113-122.

DOERFFER, R. AND J. FISCHER, 1994, "Concentrations of chlorophyll, suspended matter and gelbstoff in case II waters derived from satellite coastal zone color scanner data with inverse modeling methods", *Journal of Geophysical Research*, 99(C4): 7457-7466.

EKAU, W. AND B. KNOPPERS, 1999, "An introduction to the pelagic system of the North-East and East Brazilian shelf", *Archive of Fishery and Marine Research*, 47(2-3): 113-132.

GAETA, S.A., J.A. LORENZZETTI, L.B. DE MIRANDA, S.M.M. SUSINI-RIBEIRO, M. POMPEU AND C.E.S. DE ARAUJO, 1999, "The Vitoria Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral fall of 1995", *Archive of Fishery and Marine Research*, 47(2-3): 253-270.

GARFIELD, N., 1990, "The Brazil Current at subtropical latitudes", In: EOS Transactions, American Geophysical Union, 69(44):1237.

GARVER, S.A. AND D.A. SIEGEL, 1997, "Inherent optical property inversion of ocean color spectra and its biogeochemical interpretation 1. Time Series from the Sargasso Sea", Journal of Geophysical Research, 102(C8): 18,607-18,625.

GONZÁLES, A.S., 1994, "Modelos semi-analíticos para determinar a produção primária fitoplanctônica através de sensoriamento remoto: uma aplicação a nível regional", Oceanografia Biológica, 118.

GONZALEZRODRIGUEZ, E., 1994, "Yearly Variation in Primary Productivity of Marine-Phytoplankton From Cabo-Frio (Rj, Brazil) Region", Hydrobiologia, 294(2): 145-156.

GONZALEZRODRIGUEZ, E., J.L. VALENTIN, D.L. ANDRE AND S.A. JACOB, 1992, "Upwelling and Downwelling At Cabo Frio (Brazil) - Comparison of Biomass and Primary Production Responses", Journal of Plankton Research, 14(2): 289-306.

GORDON, H.R. AND A.Y. MOREL, 1983, "Remote Assessment of Ocean Color for Interpretation of Visible Satellite Imagery: A Review", Springer-Verlag, New York, 114 pp.

GROSS, L., S. THIRIA, R. FROUIN AND B.G. MITCHELL, 2000, "Artificial neural networks for modeling the transfer function between marine reflectance and phytoplankton pigment concentration", Journal of Geophysical Research-Oceans, 105(C2): 3483-3495.

HEINEMANN, T. AND J. FISCHER, 2000, "Remote sensing of total direct aerosol radiative forcing from MERIS measurements: A comparison of two different retrieval schemes", Physics and Chemistry of the Earth Part B-Hydrology Oceans and Atmosphere, 25(2): 101-106.

HEYWOOD, K., E.D. BARTON AND J.H. SIMPSON, 1990, "The effects of flow disturbance by na oceanic island", Journal of Marine Research, 48:55-73.

KENNEL, C. F., 1998, "Space Imaging and the Future of Oceanography"; In: Proceedings of Fifth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, v.1; pp. xxviii – xxix, ERIM, San Diego, California, USA.

KEINER, L.E. AND C.W. BROWN, 1999, "Estimating oceanic chlorophyll concentrations with neural networks", *International Journal of Remote Sensing*, 20(1): 189-194.

KIRK, J.T.O., 1994, "Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems", Cambridge Univ. Press, New York, 509 pp.

KISHINO, M., M. TAKAHASHI, N. OKAMI AND S. ICHIMURA, 1985, "Estimation fo the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea", *Bulletin of Marine Science* 37:634-642.

MADRUGA, J.L., 1997, "Diferenças relativas no desempenho de algoritmos de correção atmosférica e bio-ópticos para o processamento de imagens CZCS no Atlântico Sudoeste", *Divisão de Sensoriamento Remoto*, 143.

MADRUGA, J.L., E.B. PEREIRA, S.G. GALVÃO, M.D. BITTENCOURT, A. M. CIOTTI AND M. KAMPEL, 2001, "Estudos preliminares sobre a variabilidade espacial e temporal da radiação solar incidente no oceano Atlântico Sul utilizando dados de satélite", X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil.

MANTOURA, R.F.C., S.W. JEFFREY, C.A. LLEWELLYN, H. CLAUSTRE AND C.E. MORALES, 1997, "Comparison between spectrophotometric, fluorometric and HPLC methods for chlorophyll analysis. In: S. W. Jeffrey, R. F. C. Mantoura and S. W. Wright (ed.)". *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods*. UNESCO, Paris, p. 361-380.

MITCHELL, B.G. AND D.A. KIEFER, 1983, "Determination of absorption and fluorescence excitation spectra for phytoplankton", 5th Conference of the European society for comparative physiology and biochemistry, Taormina, Sicily, Italy.

O'REILLY, J.E., S. MARITORENA, B.G. MITCHELL, D.A. SIEGEL, K.L. CARDER, S.A. GARVER AND C.R. MCCLAIN, 1998A, "Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS", *J. Geophys. Res.*, 103(C11): 24,937-24,953.

O'REILLY, J.E., S. MARITORENA, B.G. MITCHELL, D.A. SIEGEL, K.L. CARDER, S.A. GARVER AND C.R. MCCLAIN, 1998B, "Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS", *Journal of Geophysical Research* 103(C11): 24,937-24,953.

OMACHI, C.Y., 1999, "Análise de Algoritmos Empíricos de Concentração Superficial de Clorofila-a para o sensor SeaWiFS na Região Sudoeste do Oceano Atlântico", *Meteorologia e Sensoriamento Remoto*, 124.

OMACHI, C.Y. AND C.A.E. GARCIA, 2000, "Analysis of Empirical Algorithms of Surface Chlorophyll a for SeaWiFS, in the Southwestern Atlantic Ocean", *Ocean Optics XV*, Monaco.

PAIVA, M.P., 1997, "Recursos Pesqueiros Estuarinos e Marinhos do Sul do Brasil. Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil", Edições EUFC, Fortaleza, 279 pp.

PETERSON, R.G. AND L. STRAMMA, 1991, "Upper-Level Circulation in the South-Atlantic Ocean", *Progress in Oceanography*, 26(1): 1-73.

ROESLER, C.S. AND M.J. PERRY, 1995, "In situ phytoplankton absorption, fluorescence emission, and particulate backscattering spectra determined from reflectance", *Journal of Geophysical Research*, 100(C7): 13,279-13,294.

SATHYENDRANATH, S., L. PRIEUR AND A. MOREL, 1989, "A three-component model of ocean colour and its application to remote sensing of phytoplankton pigments in coastal waters", *Int. J. Remote Sens*, 10(8): 1373-1394.

SCHMID, C., H. SCHAFFER, G. PODESTA AND W. ZENK, 1995, "The Vitoria Eddy and Its Relation to the Brazil Current", *Journal of Physical Oceanography*, 25(11): 2532-2546.

SILVA, M. R .L .F., 1997, "Uso de Imagens de Satélite no Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (Programa REVIZEE)", In: *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, v.4, pp. 1-7, Vitória, Novembro.

STECH, J.L., J.A. LORENZZETTI, J.M.C. SOUZA AND C.E.S. ARAUJO, 1996, "A Mesoscale Brazil Current Frontal Eddy Observed Through AVHRR Images and Current Meter Moorings", *International ARchives of Photogrammetry and Remote Sensing XXXI(B7)*: 650-653.

SUSINI-RIBEIRO, S.M.M., 1999, "Biomass distribution of pico-, nano- and microplankton on the continental shelf of Abrolhos, East Brazil", *Archive of Fishery and Marine Research*, 47(2-3): 271-284.

VALENTIN, J.L., D.L. ANDRE AND S.A. JACOB, 1987, "Hydrobiology in the Cabo Frio (Brazil) Upwelling Two-Dimensional Structure and Variability During a Wind Cycle", *Continental Shelf Research*, 7(1): 77-88.

VALENTIN, J.L. AND R. COUTINHO, 1990, "Modeling Maximum Chlorophyll in the Cabo Frio (Brazil) Upwelling - a Preliminary Approach", *Ecological Modelling*, 52(1-2): 103-113.

WANG, M.H., 1999, "A sensitivity study of the SeaWiFS atmospheric correction algorithm: Effects of spectral band variations", *Remote Sensing of Environment* 67(3): 348-359.

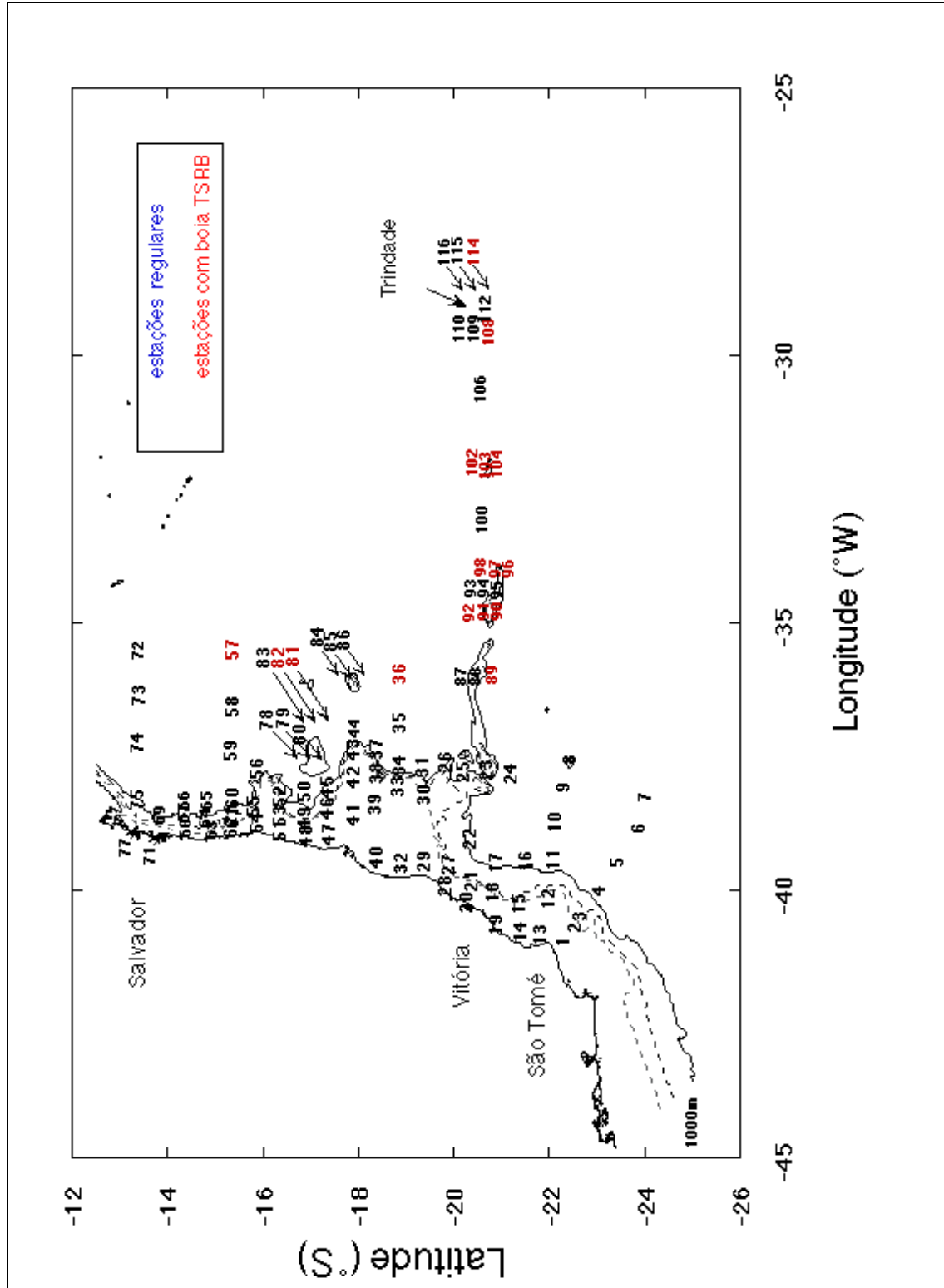
WANG, M.H. AND H.R. GORDON, 1994, "A Simple, Moderately Accurate, Atmospheric Correction Algorithm For Seawifs", *Remote Sensing of Environment*, 50(3): 231-239.

YENTSCH, C.S., 1962, "Measurement of visible light absorption by particulate matter in the ocean", *Limnology and Oceanography*, 7(2): 207-217.

Anexos

Anexo 1

Estações amostradas nos cruzeiros ambientais do Score Central. Valores indicam a numeração da estações. As estações em vermelho indicam aquelas aonde foram feitas medidas com a bóia radiométrica TSRB no cruzeiro de 2000.



Anexo 2

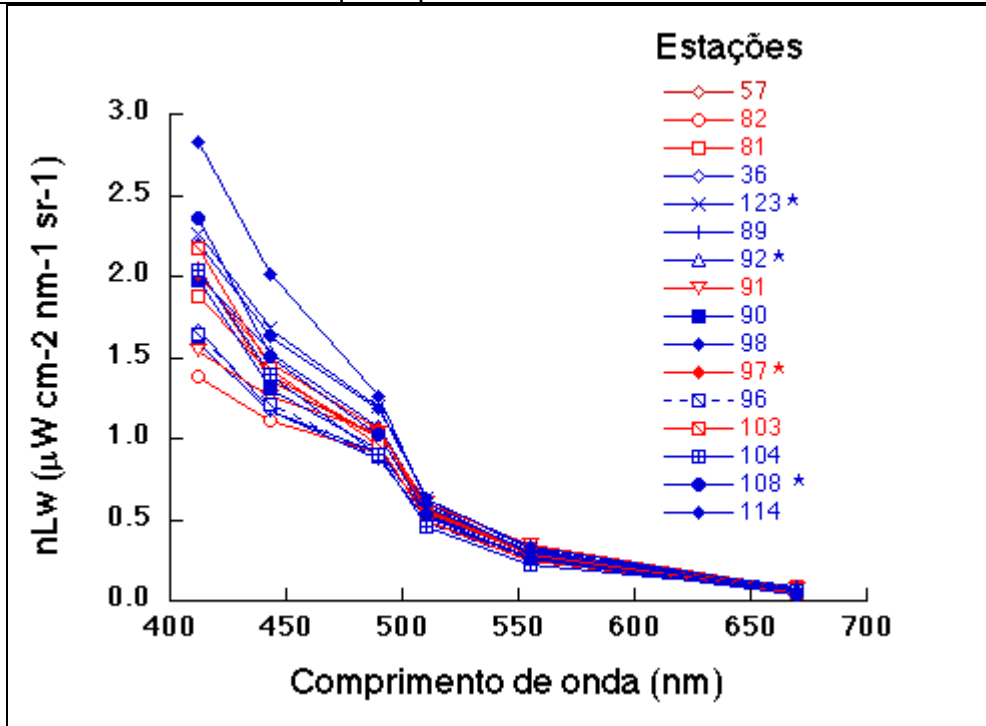
Tabela de agrupamento pela semana do ano utilizada para o cálculo de médias semanais de clorofila usando-se as imagens GAC.

Semana	Datas	
Primavera		
1	Janeiro 1	Janeiro 7
2	Janeiro 8	Janeiro 14
3	Janeiro 15	Janeiro 21
4	Janeiro 22	Janeiro 28
5	Janeiro 29	Fevereiro 4
6	Fevereiro 5	Fevereiro 11
7	Fevereiro 12	Fevereiro 18
8	Fevereiro 19	Fevereiro 25
9	Fevereiro 26	Março 4
10	Março 5	Março 11
Verão		
11	Março 12	Março 18
12	Março 19	Março 25
13	Março 26	Abril 1
14	Abril 2	Abril 8
15	Abril 9	Abril 15
16	Abril 16	Abril 22
17	Abril 23	Abril 29
18	Abril 30	Maio 6
19	Maio 7	Maio 13
20	Maio 14	Maio 20
21	Maio 21	Maio 27
22	Maio 28	Junho 3
Outono		
23	Junho 4	Junho 10
24	Junho 11	Junho 17
25	Junho 18	Junho 24
26	Junho 25	Julho 1
27	Julho 2	Julho 8

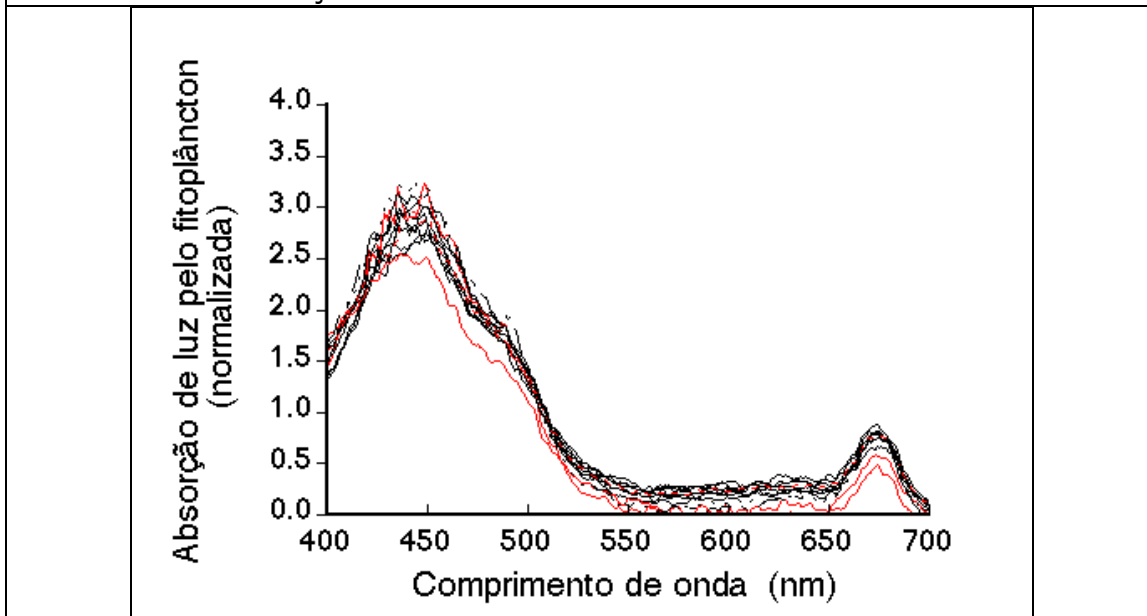
28	Julho 9	Julho 15
29	Julho 16	Julho 22
30	Julho 23	Julho 29
31	Julho 30	Agosto 5
32	Agosto 6	Agosto 12
33	Agosto 13	Agosto 19
34	Agosto 20	Agosto 26
35	Agosto 27	Setembro 2
36	Setembro 3	Setembro 9
Inverno		
37	Setembro 10	Setembro 16
38	Setembro 17	Setembro 23
39	Setembro 24	Setembro 30
40	Outubro 1	Outubro 7
41	Outubro 8	Outubro 14
42	Outubro 15	Outubro 21
43	Outubro 22	Outubro 28
44	Outubro 29	Novembro 4
45	Novembro 5	Novembro 11
46	Novembro 12	Novembro 18
47	Novembro 19	Novembro 25
48	Novembro 26	Dezembro 2
49	Dezembro 3	Dezembro 9
Primavera		
50	Dezembro 10	Dezembro 16
51	Dezembro 17	Dezembro 23
Verão		
52	Dezembro 24	Dezembro 31

Anexo 3

(a) Espectros da radiação emergente normalizada na superfície das estações em que foram feitos lançamentos com a bóia radiométrica durante o cruzeiro de 2000. Os valores em vermelho indicam estações sobre os bancos submersos e as estações com um "*" indicam cobertura adequada pelo satélite SeaWiFs no mesmo dia.

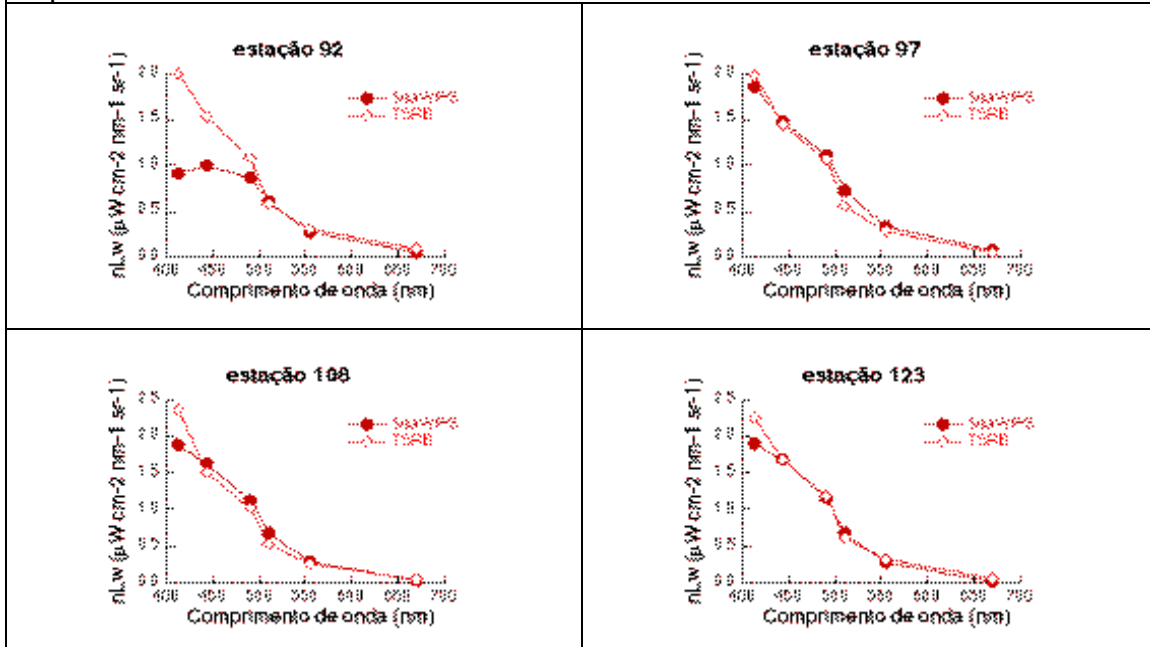


(b) Espectros de absorção de luz pelo fitoplâncton (normalizadas pela média dos valores entre 400 e 700 nm) na superfície das estações em que foram feitos lançamentos com a bóia radiométrica durante o cruzeiro de 2000. Os valores em vermelho indicam estações sobre os bancos submersos.

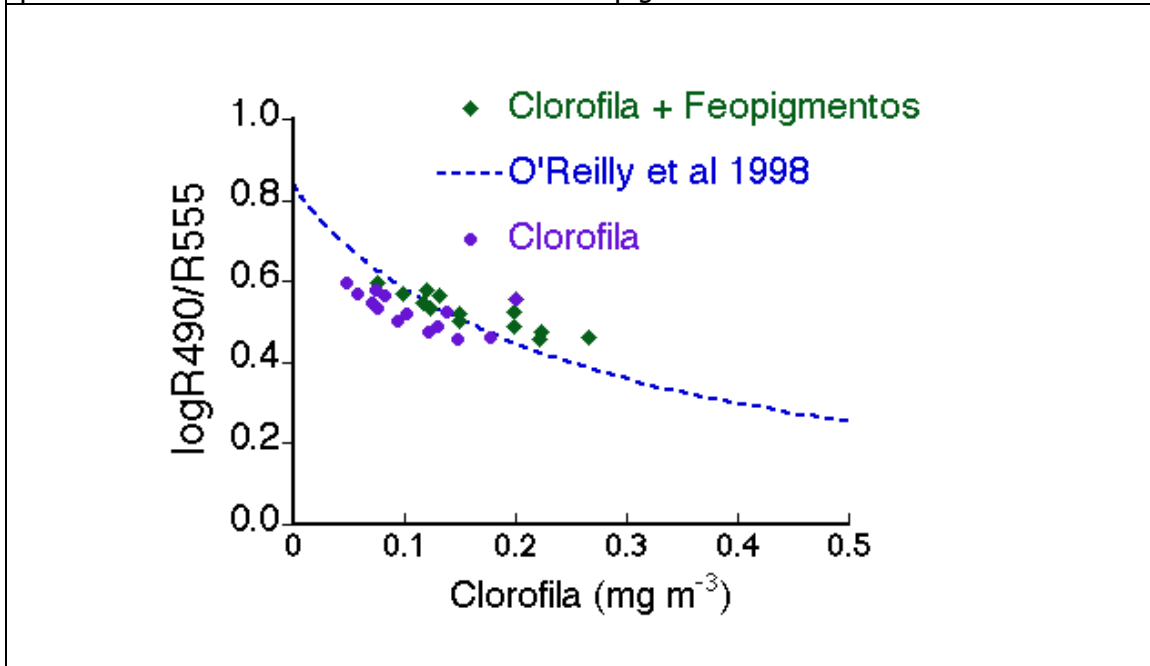


Anexo 4

(a) Comparações entre os espectros normalizados de radiação emergente na superfície medidos com a bóia radiométrica e com o satélite SeaWiFs.

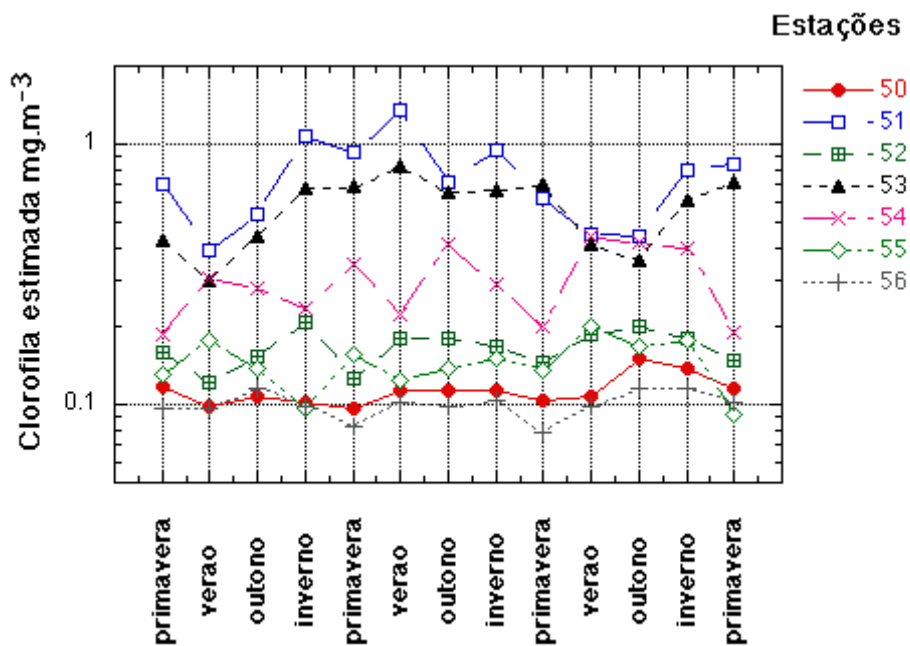
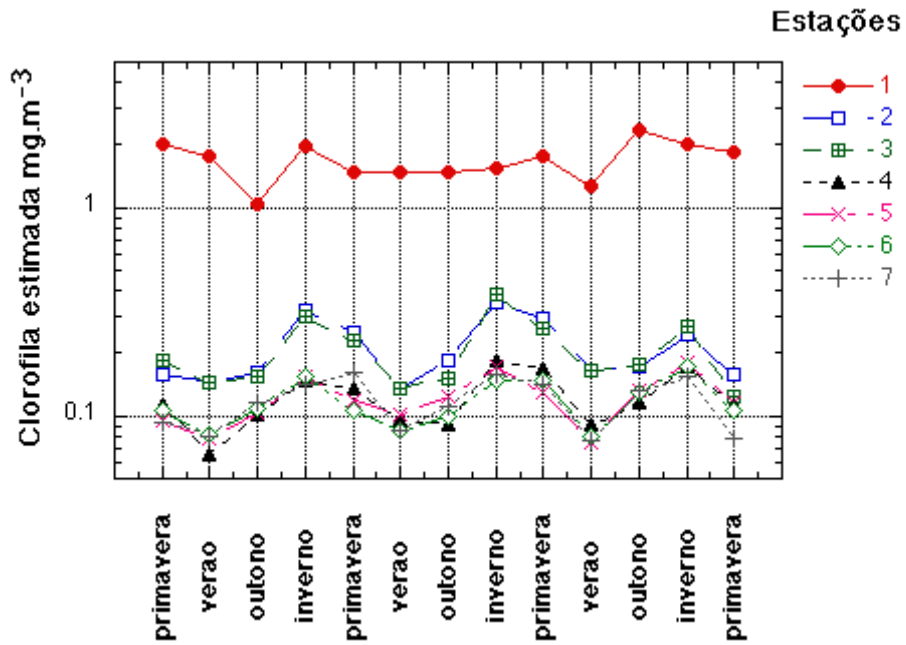


(b) Comparação entre os valores de clorofila medidos fluorimetricamente nas amostras de superfície e os valores estimados pelo algoritmo C4 (aquele usado nas imagens) com os dados da bóia radiométrica. Note que a comparação é feita também para os valores de clorofila acrescidos dos feopigmentos.



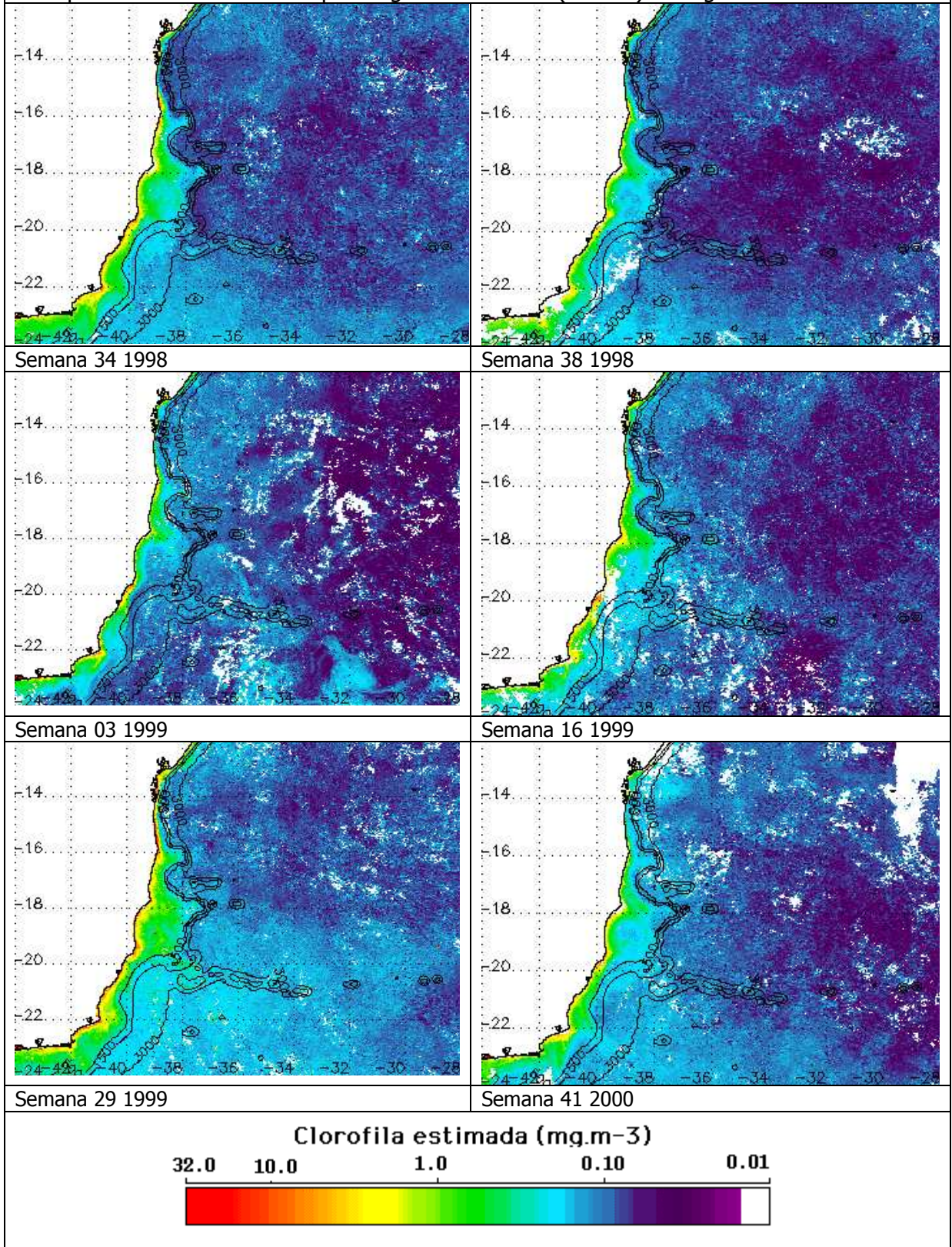
Anexo 5

Variação sazonal de clorofila estimada nas imagens GAC (5 km) para cada ponto representando algumas das estações amostradas durante os cruzeiros. Veja o Anexo 1 para a posição das estações e Anexo 2 para as datas.



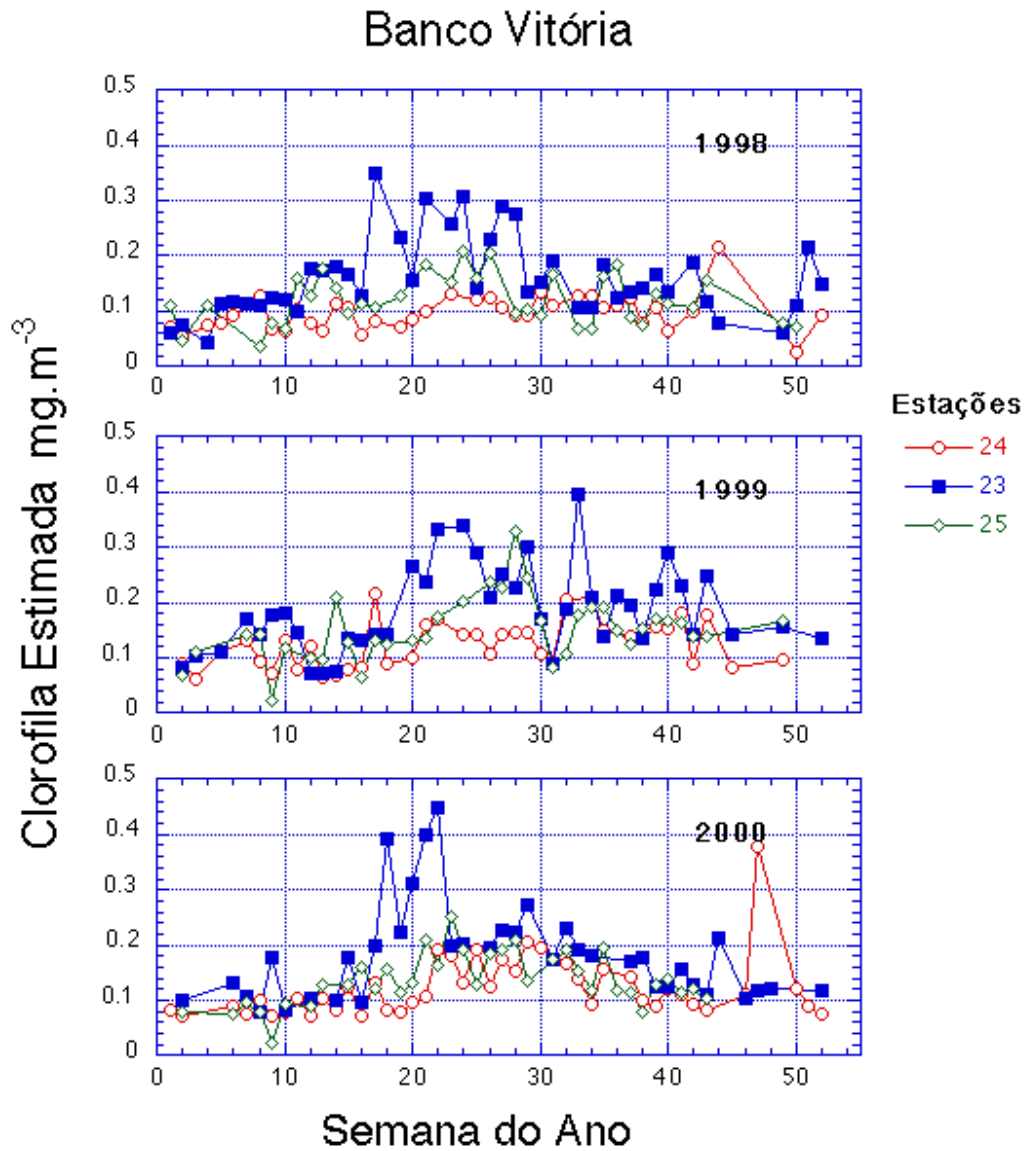
Anexo 6

Mapas de clorofila estimada para algumas semanas (médias) na região do Score Central



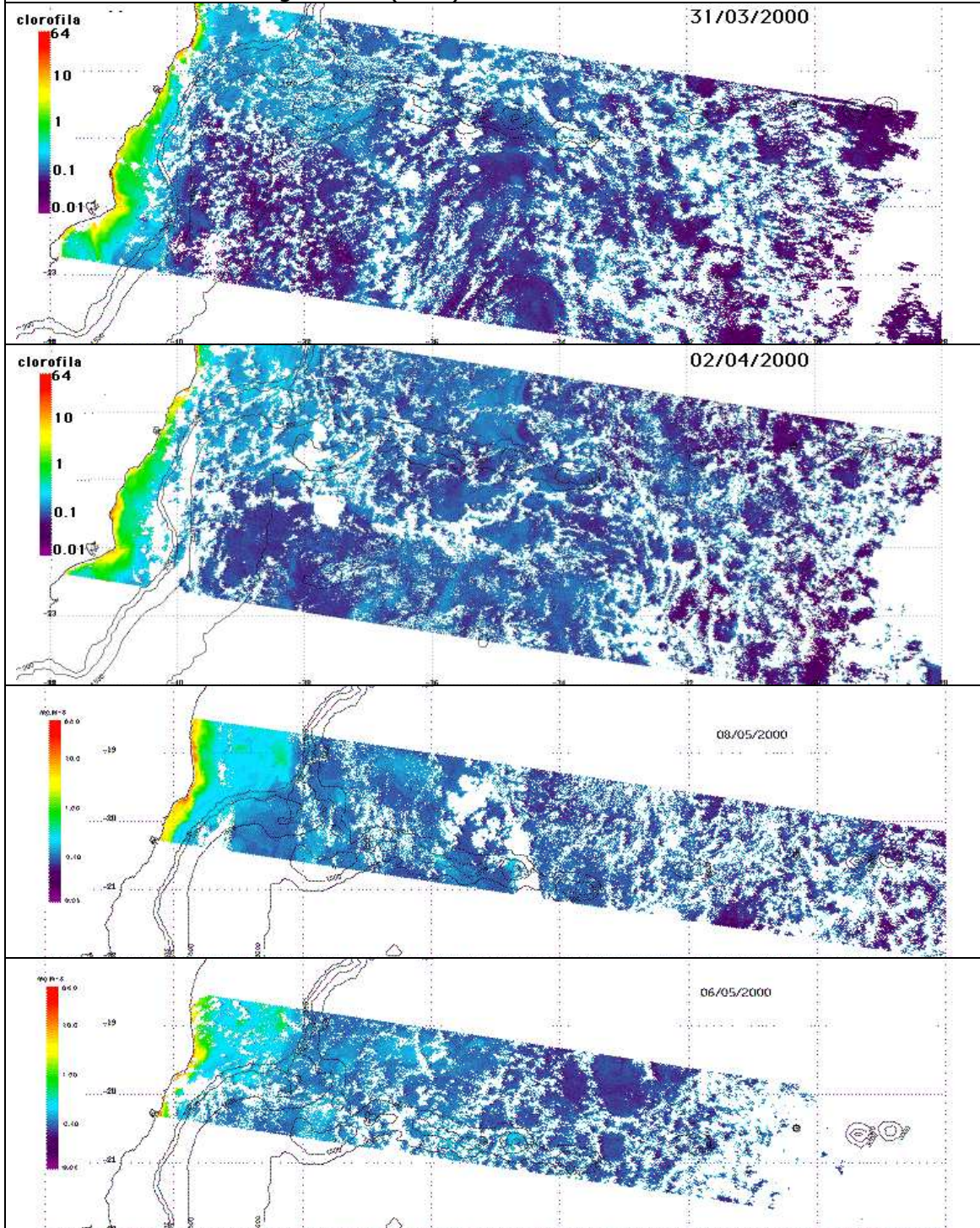
Anexo 7

Variações semanais (médias) de clorofila estimada pelas imagens SeaWiFs nas estações próximas ao Banco Vitória para 1998, 1999 e 2000. Pontos em azul representam o pixel da imagem sobre o banco.



Anexo 8

Clorofila superficial estimada durante algumas passagens (datas estão indicadas) sobre o cruzeiro de 2000. Imagens LAC (1 km)



Anexo 9

