



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ANÁLISE DA REFLECTÂNCIA MARINHA NA REGIÃO COSTEIRA DE UBATUBA, LITORAL NORTE DE SÃO PAULO.

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

João Felipe Cardoso dos Santos (IOUSP, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: joaofelipe.ioussp@gmail.com

Dr. Milton Kampel (DSR/INPE, Orientador)
E-mail: milton@dsr.inpe.br

COLABORADORES

Dr. Salvador Airtton Gaeta (LaPP/IOUSP)
Msc. Mayza Pompeu (LaPP/IOUSP)

INPE
São José dos Campos
Junho de 2010

RESUMO

Alguns constituintes da água do mar possuem características ópticas que, em função das concentrações em que são encontrados, concedem diferentes cores ao oceano. Essas concentrações podem ser analisadas pela reflectância destes materiais dentro ou sobre a água, captadas com o auxílio de sensores *in situ* e orbitais. Porém, sensores orbitais funcionam bem para águas oceânicas abertas, onde os constituintes ópticos sofrem menores interferências da região costeira (efeitos antropogênicos, aporte de matéria orgânica e inorgânica, taxa de precipitação pluviométrica, mudanças na direção e intensidade do vento). Para entender melhor os processos envolvidos no litoral, se faz necessária a aquisição de dados oceanográficos que complementem as medidas radiométricas e auxiliem na análise da reflectância marinha. O Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo e o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais vêm contribuindo com a rede de observações ANTARES no litoral de Ubatuba, estado de São Paulo, desde dezembro de 2004. Este trabalho teve como objetivo analisar dados de julho de 2006 até junho 2009 da rede ANTARES, relacionando reflectância marinha, medida por meio de radiômetros *in situ*, com dados oceanográficos para identificar quais fatores alteram a contribuição dos constituintes da água do mar. Objetivou-se também simular as bandas de leitura dos sensores orbitais *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS) para comparar os valores obtidos pelos radiômetros no campo com os algoritmos empíricos dos sensores MODIS e SeaWiFS. Foram identificados três padrões não sazonais de cor do oceano que variaram de acordo com a direção do vento e com o índice pluviométrico local. Observou-se que os algoritmos existentes superestimaram os valores *in situ*. A pesquisa deverá auxiliar o desenvolvimento e validação de algoritmos da cor do oceano para o litoral de Ubatuba, substituindo os que não se mostram eficazes para regiões costeiras.

ABSTRACT

Some water components have optical properties that give different colors to the ocean water. The concentration of these components can be assessed through the material's reflectance in or on the sea surface, by the use of *in situ* radiometers and satellite remote sensing. Though very convenient, satellites have a hard time determining these concentrations in coastal zones, since their sensors were conceived to be used in open ocean and don't take into account interferences from the continent, like anthropogenic discharges, input of organic and inorganic matter and wind direction and intensity. To better understand the oceanographic processes that impact on the reflectance data, as well, the Oceanography Institute of the University of São Paulo and the National Institute for Space Research have been contributing to the time series ANTARES observations since 2004. This research aims at analyzing data from July 2006 to June 2010, correlating marine reflectance, measured by *in situ* radiometers, with oceanographic data to identify factors that interfere in the ocean optics properties dynamic. Another goal was to simulate the *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) and *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS) algorithms order to compare them to on site radiometer readings. Three differences non-seasonal ocean color patterns were observed, due mainly to wind direction and local precipitations. The algorithms for the orbital sensors were showed to overestimate the *in situ* values. This research will contribute develop and validate more adequate ocean color algorithms for the Ubatuba coast, helping understand, at the same time, the processes at the shoreline by a synoptic remote sensing monitoring.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1.1: Diagrama esquemático da inter-relação entre as propriedades ópticas aparentes e inerentes. O modelo direto é a análise intrínseca dos constituintes da água para estimar a curva óptica. Modelo inverso é o processo do espectro óptico para estimar os constituintes da água (Ilustração adaptada de IOCCG, 2000).	3
Figura 1.2: Diagrama ternário representativo de águas Caso 1 e 2 em função da concentração dos constituintes ópticos (Ilustração adaptada de Prieur & Sathyendranath, 1981).	5
Figura 1.3: Localização da estação de coleta Antares (23°36'S e 44°58'W) sobreposta a imagem de clorofila-a (sensor MODIS/Aqua dia 16/08/2009 – 16:35 GMT).	7
Figura 1.4 (a,b): Representação da circulação da Água Tropical – AT e da Água Central do Atlântico Sul - ACAS (Baseada em Stramma & England, 1999). (a) AT - 0 a 140 metros; (b) ACAS - 140 – 1060 metros.	8
Figura 3.1: Box-plot da reflectância de sensoriamento remoto em 443 nm – Rrs(443). Em vermelho estão plotadas as 30 estações onde foram realizadas medidas radiométricas. Em verde, estão as 24 estações que foram efetivamente utilizadas no trabalho.	15
Figura 3.2: Barra agrupada da contribuição do CDOM, MP e FITO pela análise de absorvância em 443 nm (m ⁻¹).	16
Figura 3.3: Gráfico ternário com a distribuição relativa de CDOM, MP e FITO analisados por absorvância no comprimento de 443 nm (m ⁻¹).	16
Figura 3.4 (a, b, c, d, e): curva espectral (350-700 nm) da reflectância de sensoriamento remoto e as características encontradas em cada padrão.	17 e 18
Figura 3.5 (a, b): Direção e intensidade do vento comparado às imagens de TSM e Chl-a do mesmo dia obtidas pela sensor MODIS/Aqua. (a) imagens referentes ao padrão Tipo I e (b) referente ao padrão Tipo III (imagens em diferentes escalas).	21
Figura 3.6: <i>Box plot</i> do delta clorofila entra os algoritmos empíricos e os valores fluorimétricos (<i>in situ</i>). Em laranja (OC2 e OC4) referentes ao sensor SeaWiFS, em verde (OC3M) referente ao sensor MODIS.	25
Figura 3.7 (a, b, c): Correlação entre os valores fluorimétricos e os calculados pelos algoritmos empíricos. (a) Correlação entre OC2, (b) correlação entra OC4 e (c) correlação entre OC3M.	26

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1: Atividades desenvolvidas nas coletas mensais. Radiometria são as medidas realizadas pelo radiômetro hiperspectral FieldSpec HH para o processamento das curvas de reflectância de sensoriamento remoto e estimativa da concentração de clorofila pelos algoritmos empíricos. Análise da água refere à coleta, filtragem e leitura da absorbância dos valores de CDOM, material particulado, fitoplâncton e clorofila pelo método de fluorescência.	10
Tabela 3.1: Estações, data de coleta e valores de Rrs(443) utilizados no box-plot. As estações contidas na tabela serão usadas até o final das análises de reflectância.	14
Tabela 3.2: Dados auxiliares oceanográficos de clorofila-a in situ pelo método fluorimétrico, FITO, MP e CDOM pela análise da absorbância (m^{-1}) e Zeu calculada indiretamente pela profundidade máxima de visualização do disco de Secchi. ..	19
Tabela 3.3: Média aritmética da temperatura da coluna da água em cada nos 5 tipo de padrões definidos.	20
Tabela 3.4: Estações em que foram calculados os valores de concentração de Chl-a dos algoritmos e fluorimétricos.	23
Tabela 3.5: Valores de Δ Clorofila e o desvio padrão de cada cálculo.	24
Tabela 3.6: Valores de r^2, rmse-L e RDP das algoritmos empíricos.	27

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACAS	Água Central do Atlântico Sul
AT	Água Tropical
CB	Corrente do Brasil
CDOM	Colored Dissolved Organic Matter
Chl-a	Concentração de clorofila-a
CSE	Corrente Sudeste Equatorial
$Ed(\lambda)$	Irradiância espectral incidente na superfície do mar
FITO	Absorbância do Fitoplâncton
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOCCG	International Ocean Colour Coordinating Group
IOUSP	Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo
$Lw(\lambda)$	Radiância espectral emergente da água
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MP	Material Particulado
OC2V	Ocean Chlorophyll 2-band
OC3M	Ocean Chlorophyll 3-bands
OC4V	Ocean Chlorophyll 4-band
PCSE	Plataforma Continental Sudeste Brasileira
RDP	Percentual da diferença média relativa
rmse-L	Erro quadrático médio linearmente transformado
$Rrs(\lambda)$	Reflectância de Sensoriamento Remoto
SeaWiFS	Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UV	Ultra Violeta
Zeu	Profundidade máxima da camada eufótica

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Prefácio	1
1.2 Aspectos Gerais	2
1.3 Área de Estudo	7
1.4 Objetivos	9
2 MATERIAIS E METODOS	10
2.1 Coleta de Dados	10
2.2 Medidas Radiométricas	11
2.3 Algoritmos Empíricos	11
2.4 Comparação Estatística	12
2.5 Análises Laboratoriais	13
2.6 Dados Meteo-Oceanográficos	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
3.1 Medidas Radiométricas	14
3.2 Dados Meteo-Oceanográficos	21
3.3 Algoritmos Empíricos e Comparação Estatística	22
4 CONCLUSÃO	27
4.1 Horário do Satélite	27
4.2 Medidas Radiométricas	28
4.3 Análises Meteo-Oceanográficas	28
4.4 Algoritmos Empíricos e Estatísticas	28
AGRADECIMENTOS	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1 INTRODUÇÃO

1.1 Prefácio

ANTARES é uma rede de observação sul-americana criada em 2003 com apoio internacional cujo objetivo é o estudo de mudanças de longo período nos ecossistemas costeiros em torno da América do Sul. Para alcançar este objetivo, se propõe padronizar e aperfeiçoar uma série de medições realizadas em estações de séries temporais existentes, permitindo a criação de uma base de dados consistente em escala continental que poderá servir para o desenvolvimento e validação de algoritmos usados na obtenção de informações oceanográficas por satélites; tais como, a temperatura da superfície do mar e a concentração de clorofila-a. Esta base de dados integrada com dados *in situ* da zona costeira que rodeia a América do Sul não é somente utilizada pelos pesquisadores da rede empenhados em alcançar seus objetivos científicos, mas também, pelo público em geral com propósitos educacionais e de gerenciamento ambiental. (Informação distribuída pela Rede ANTARES: <http://www.dsr.inpe.br/antares>).

No Brasil, os dados da rede ANTARES tiveram início em março de 2005 e são divididos em duas regiões:

- a) Brasil Sul: 26°S a 38°S e 59W° a 45°W
- b) Brasil Sudeste: 20°S a 30°S e 49W° a 39°W

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) juntamente com o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP) contribuem com a série temporal coletando mensalmente dados *in situ* do perímetro sudeste desde dezembro de 2004. Inicialmente as coletas eram feitas nas coordenadas (23,7°S e 45,0°W) entre dezembro de 2004 a junho de 2006. A partir de julho de 2006 o local de coleta de dados passou a ser em 23,6°S e 44,9°W e vem sendo mantido até o presente. Nessa pesquisa vamos trabalhar com os dados a partir desse segundo ponto de coleta.

1.2 Aspectos Gerais

As interações entre a luz e as águas têm sido avaliadas historicamente por meio do uso de instrumentos relativamente simples como o disco de Secchi (criado em 1865 e ainda empregado para medir a transparência dos corpos d'água), turbidímetros para medidas de turbidez e métodos comparativos como a escala de cor de águas criada pelo químico norte-americano Allen Hazen (Hazen, 1986) com base em soluções padronizadas de platina-cobalto (Pt-Co). Desde o pioneirismo desses métodos até os dias atuais, o interesse está em identificar os corpos de água. Esses corpos de água são formados por combinações distintas de materiais particulados e dissolvidos, orgânicos e inorgânicos (IOCCG, 2000) que, juntamente com a reflexão e o espalhamento da luz sobre a superfície marinha, contribuem nas interações entre luz e água – na chamada óptica hidrológica – gerando características hidrofísicas que podem ser relacionadas à cor das águas (Pedrosa, 2008). Essa coloração, em geral associada a um valor estético, apóia o desenvolvimento de estudos científicos certamente úteis à caracterização, ao mapeamento, à gestão e ao monitoramento de recursos hídricos e ecossistemas aquáticos.

As propriedades ópticas da água são definidas pela maneira em que contribuem para a coloração que observamos, sendo classificadas como propriedades ópticas aparentes e inerentes (Figura 1.1).

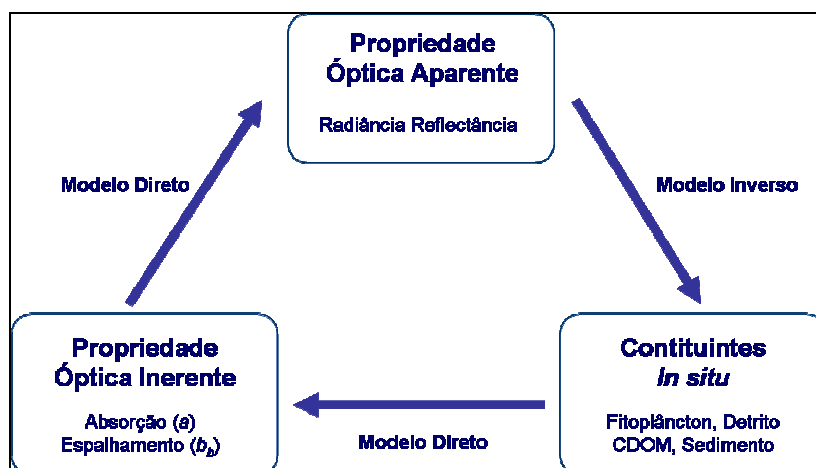


Figura 1.1: Diagrama esquemático da inter-relação entre as propriedades ópticas aparentes e inerentes. O modelo direto é a análise intrínseca dos constituintes da água para estimar a curva óptica. Modelo inverso é o processo do espectro óptico para estimar os constituintes da água (Ilustração adaptada de IOCCG, 2000).

As propriedades ópticas inerentes medem o comportamento da luz (coeficientes ópticos) nas frações particulada e/ou dissolvida de amostras de água natural em condição padronizada, isolada ou protegida da radiação solar. Normalmente, tais medidas são feitas em laboratório, com instrumentos específicos (espectrofotômetros, espectrofluorímetros...), equipados com lâmpadas que atuam como uma fonte controlada de luz. Nas águas naturais, os principais componentes do meio hídrico que influenciam o comportamento da luz são a água propriamente dita, os detritos (turbidez), o fitoplâncton (clorofila) e a matéria orgânica dissolvida cromófora (capaz de absorver luz), também chamada de matéria orgânica dissolvida colorida, gilvin, gelbstoff ou, simplesmente, CDOM. Tais interferentes influenciam a cor e a tonalidade da água, afetando as propriedades ópticas do oceano não só na faixa espectral associada à região do visível e da radiação fotossinteticamente ativa (~400-700 nm), mas também na faixa da luz ultravioleta A (UV-A, ~315-400 nm) e B (UV-B, ~280-315 nm), não visível para os humanos.

A óptica aparente inclui as influências da interação entre a luz solar, atmosfera e as águas (e dos sedimentos de fundo). São influências sensíveis às condições ambientais no momento e no local da avaliação. Por meio de

medidas de óptica aparente, é possível determinar a intensidade da radiação solar e sua composição espectral, ou a característica do ambiente de luz subaquático, ao longo da coluna d'água (Pedrosa, 2008). Ainda em relação à óptica aparente, tem sido possível realizar estimativas locais e globais de biomassa fitoplanctônica (algas microscópicas) em águas marinhas superficiais, por meio de sensoriamento remoto, a partir da análise das ondas de luz que sofrem reflexão nesses ambientes. Em águas continentais, estuarinas e costeiras, a maior quantidade e a variabilidade de interferentes ópticos tendem a dificultar esse tipo de avaliação remota.

A reflectância é uma das propriedades ópticas aparentes que auxilia em outras medidas radiométricas como absorvância, espalhamento, concentração de clorofila e que vão depender das características físicas, químicas e biológicas do corpo d'água. Cada caso de água oceânica (Caso 1 e 2) pode ser caracterizada pela sua assinatura espectral de reflectância, porém águas de Caso 2 sofrem mudanças em curtos períodos de tempo, o que dificulta a definição desse caso de água em função da análise de reflectância marinha. Pela definição, águas de Caso 1 são aquelas cujo principal agente responsável pela variação óptica é o fitoplâncton. De acordo com Morel & Prieur, 1977; Sathyendranath & Morel, 1983; as águas do Caso 2 são influenciadas não somente pelo fitoplâncton, mas também por outras substâncias opticamente ativas, as partículas inorgânicas em suspensão e notadamente as substâncias amarelas ou matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM), Figura 1.2.

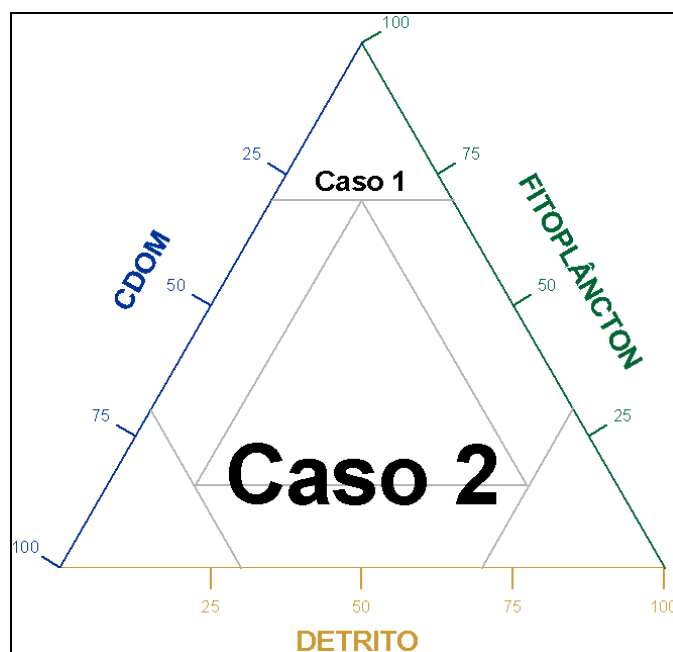


Figura 1.2: Diagrama ternário representativo de águas Caso 1 e 2 em função da concentração dos constituintes ópticos (Ilustração adaptada de Prieur & Sathyendranath, 1981).

A reflectância de sensoriamento remoto da superfície da água é realizada com o uso de sistemas sensores passivos 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 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 & Novo, 2005). O sinal detectado remotamente é formado pelas seguintes contribuições: luz espalhada pela atmosfera, luz refletida specularmente pela superfície do corpo de água e luz emergente da superfície da água após ter sido retroespalhada no interior do corpo de água.

Embora haja uma maior facilidade de se obter esses dados radiométricos, a técnica de sensoriamento remoto 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 (Lorenzetti, 1994). É importante e necessária a aquisição de dados de campo para um correto uso e análise de dados de sensoriamento remoto.

1.3 Área de Estudo

A estação sudeste do projeto ANTARES está localizada na Plataforma Continental Sudeste Brasileira (PCSE) a aproximadamente 20 milhas náuticas da cidade de Ubatuba, no litoral norte do Estado de São Paulo (23°36'S e 44°58'W), Figura 1.3. De acordo com Castro et al. (1987), a parte sul-sudeste da costa Brasileira localiza-se entre as latitudes de 19°S e 34°S, possui uma profundidade média de 70 metros e um regime oceanográfico de transição entre águas costeiras e de plataforma continental. As estações de coleta do projeto Antares estão na isóbata de 40 metros onde Castro et al. (1987) também diz que ao largo dessa faixa, observa-se a presença de águas com influência da Água Tropical (AT) e da Água Central do Atlântico Sul (ACAS).

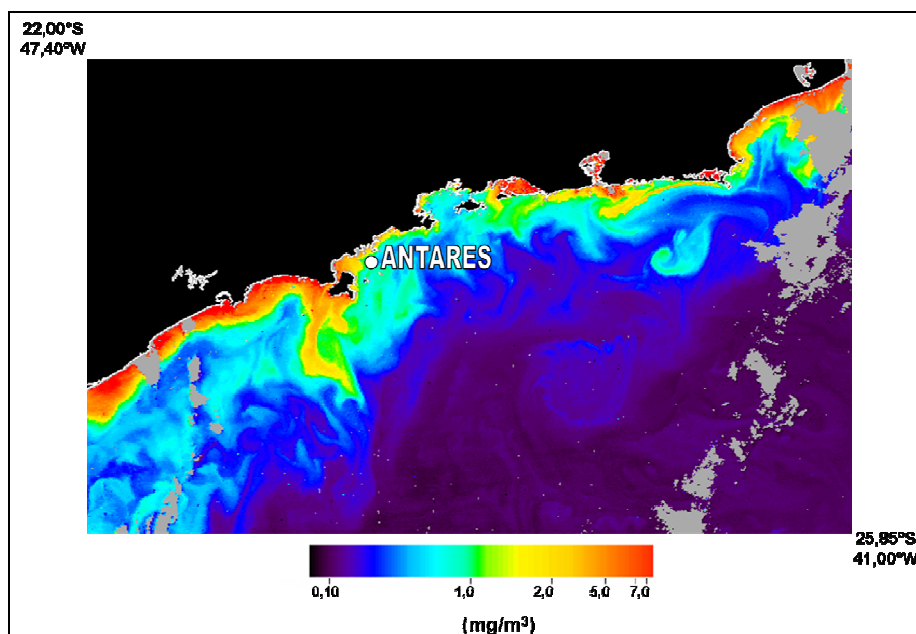


Figura 1.3: Localização da estação de coleta Antares (23°36'S e 44°58'W) sobreposta a imagem de clorofila-a (sensor MODIS/Aqua dia 16/08/2009 – 16:35 GMT).

A AT foi descrita por Emilson (1961) como parte da massa de água quente e salina que ocupa a superfície do Atlântico Sul Tropical, a qual é transportada para o sul pela Corrente do Brasil - CB. Essa água de superfície é formada como consequência da intensa radiação e excesso de evaporação em relação à precipitação, característicos do Atlântico Tropical. Em seu trajeto para o sul,

mistura-se com águas de origem costeira mais frias e de baixa salinidade. O resultado é que a AT é caracterizada por temperaturas maiores que 20°C e salinidades acima de 36,2‰ ao largo do sudeste brasileiro. Stramma & England (1999) compilaram informações que indicam que esta massa de água flui para o sul a partir de 15°S e que, então, circule anti-ciclonicamente conforme ilustrado na Figura 1.4(a).

A ACAS é encontrada fluindo na região da piconclina, e como indica, apresenta temperaturas maiores que 8,7°C e menores que 20°C, e salinidades entre 34,66‰ e 36,20‰. Trabalhos clássicos como Sverdrup et al. (1942) e Wust (1936) mencionam que a ACAS é formada por afundamento das águas na região da Convergência sub-tropical, e subsequente espalhamento ao longo da superfície de densidade adequada a seu ajustamento hidrostático. A ACAS entra como parte do Giro Subtropical, circula com as Correntes do Atlântico Sul e Benguela, e atinge a costa da América do Sul, ao largo do sudeste brasileiro, transportada pela Corrente Sul Equatorial (CSE). Ao se aproximar da costa africana, recebe contribuição da Água Central do Índico devido às intrusões de vórtices da Corrente das Agulhas (Tomczak & Godfrey, 1994), Figura 1.4(b).

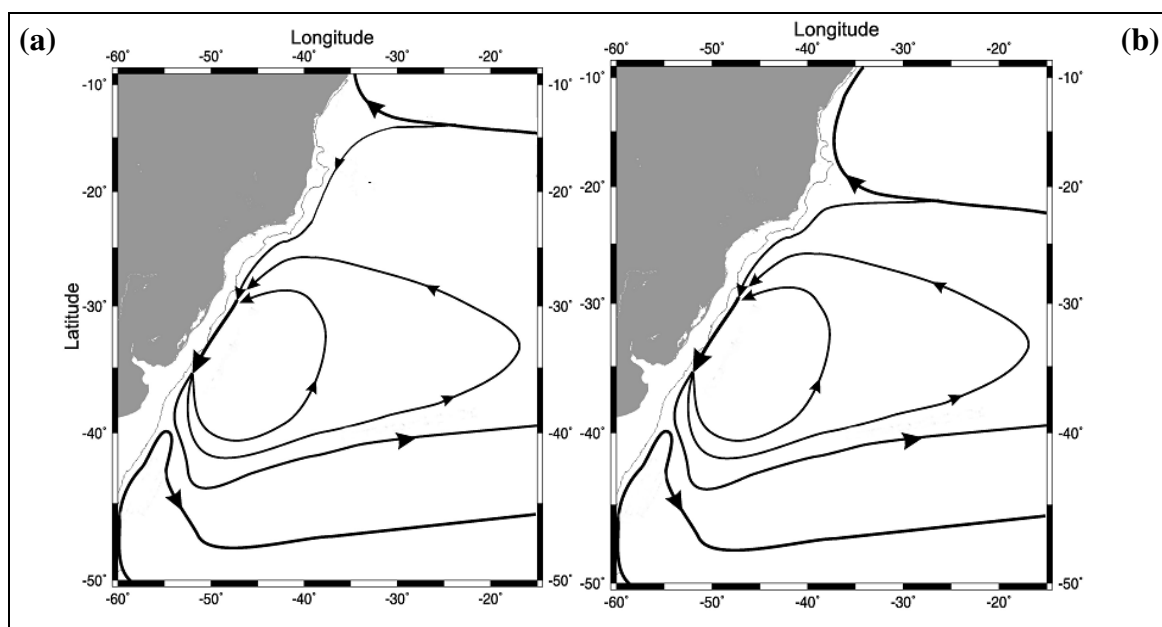


Figura 1.4 (a,b): Representação da circulação da Água Tropical – AT e da Água Central do Atlântico Sul - ACAS (Baseada em Stramma & England, 1999).

(a) AT - 0 a 140 metros; (b) ACAS - 140 – 1060 metros.

Durante o verão, intrusão de ventos do primeiro quadrante faz com que a água superficial seja levada para regiões mais externas da plataforma possibilitando que a ACAS penetre 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.

1.4 Objetivos

Este trabalho teve como objetivos principais:

- Estimar a reflectância marinha de sensoriamento remoto na estação fixa Antares-Ubatuba em função de dados radiométricos coletados mensalmente *in situ*.
- Analisar a variabilidade temporal da reflectância marinha na área de estudo de forma integrada com outros parâmetros meteo-oceanográficos.
- Estimar a concentração de clorofila-a pela aplicação de algoritmos empíricos da cor do oceano aos dados de reflectância e compara-los às estimativas de clorofila-a de medidas fluorimétricas "in situ".
- Fazer a comparação desse conjunto de dados com o uso de métodos estatísticos para estimar qual algoritmo obteve melhor desempenho referente ao sensor SeaWiFS e o sensor MODIS.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coleta de Dados

As coletas foram realizadas mensalmente a bordo do barco Veliger II do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo na estação fixa situada a 23°36'W – 44°58'S. Em cada coleta foram realizadas medidas radiométricas sobre a superfície do mar e foram feitas coletas de água nas profundidades de 0, 5, 10, 25 e 38 metros. Cada coleta mensal recebeu uma nomenclatura como descrito na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Atividades desenvolvidas nas coletas mensais. Radiometria são as medidas realizadas pelo radiômetro hiperspectral FieldSpec HH para o processamento das curvas de reflectância de sensoriamento remoto e estimativa da concentração de clorofila pelos algoritmos empíricos. Análise da água refere à coleta, filtragem e leitura da absorbância dos valores de CDOM, material particulado, fitoplâncton e clorofila pelo método de fluorescência.

Estação	Data	Radiometria	Análise da Água	Estação	Data	Radiometria	Análise da Água
UBA20	17/07/06	X		UBA38	24/01/08	x	x
UBA21	30/08/06	X		UBA39	26/02/08	x	x
UBA22	28/09/06	X	x	UBA40	19/03/08	x	x
UBA23	31/10/06	X		UBA41	23/04/08	x	x
UBA24	22/11/06	X	x	UBA42	06/05/08	x	x
UBA25	12/12/06	X	x	UBA43	18/06/08	x	x
UBA26	24/01/07	X	x	UBA44	17/07/08	x	x
UBA27	13/02/07	X	x	UBA45	14/08/08	x	x
UBA28	13/03/07	X	x	UBA46	02/09/08	x	x
UBA29	16/04/07	X	x	UBA47	14/10/08		x
UBA30	04/05/07	X	x	UBA48	11/11/08	x	x
UBA31	28/06/07		x	UBA49	12/12/08		x
UBA32	21/07/07	X	x	UBA50	30/01/09	x	x
UBA33	30/08/07		x	UBA51	19/02/09	x	x
UBA34	20/09/07	X	x	UBA52	12/03/09	x	x
UBA35	17/10/07	X	x	UBA53	07/04/09		x
UBA36	08/11/07	X	x	UBA54	21/05/09	x	x
UBA37	18/12/07	X	x	UBA55	18/06/09		

2.2 Medidas Radiométricas

As medidas radiométricas foram capturadas com o radiômetro hiperespectral FieldSpec HandHeld fabricado pela ASD Inc. seguindo a metodologia descrita por Mobley (1999) e Fougnie et al. (1999). Dados auxiliares para aquisição de medidas radiométricas sobre a superfície da água também são anotados (Mobley 1999; Mueller, 2003).

Mobley (1999) calcula a reflectância de sensoriamento remoto (R_{rs}^{-1}) através da seguinte equação:

$$R_{rs}(\lambda) = \frac{L_w(\lambda)}{E_d(\lambda)} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

- $L_w(\lambda)$ é a radiância espectral emergente da água.
- $E_d(\lambda)$ é a irradiância espectral incidente na superfície do mar.

$E_d(\lambda)$ foi estimada através da medida da radiância, $L(\lambda)$, de uma placa branca feita de Spectralon (Mobley, 1999). Assim, $E_d(\lambda)$ é dada por:

$$E_d(\lambda) = L(\lambda) \times fc \times \pi \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde fc é um fator de correção determinado em laboratório através da razão entre $L(\lambda)$ da placa de referência utilizada em campo e $L(\lambda)$ de uma placa padrão.

2.3 Algoritmos Empíricos

Os dados foram integrados de modo a simularem as bandas espectrais dos sensores orbitais da cor do oceano *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS) e *Moderate Resolution Imaging Spectrometer* (MODIS). Foram utilizados os algoritmos empíricos de cor do oceano *Ocean Chlorophyll 4-band* - OC4v4 e *Ocean Chlorophyll 2-band* - OC2v4, referentes ao sensor SeaWiFS e o algoritmo *Ocean Chlorophyll 3-bands* - OC3M, referente ao

sensor MODIS para a estimativa das concentrações de clorofila através dos valores radiométricos de reflectância (O'Reilly et al., 2000).

O algoritmo OC2v4 estima a CSM partir da razão de bandas Rrs(490)/Rrs(555) utilizando a função polinomial cúbica modificada:

$$C_a = 10,0^{(0,319 - 2,336 R_{2S} + 0,879 R_{2S}^2 - 0,135 R_{2S}^3) - 0,071} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde $R_{2S} = \log_{10}(R^{490/555})$.

O algoritmo OC4v4 também relaciona razões de bandas com a clorofila-a através de uma única função polinomial, mas emprega a razão de banda máxima determinada como a maior razão (R_{\max}) entre os valores de Rrs(443)/Rrs(555), Rrs(490)/Rrs(555) e Rrs(510)/Rrs(555). A versão mais recente (O'Reilly et al. 2000) estima a concentração através da seguinte função de quarta ordem:

$$C_a = 10,0^{(0,366 - 3,067 R_{4S} + 1,930 R_{4S}^2 - 0,649 R_{4S}^3 - 1,532 R_{4S}^4)} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde $R_{2S} = \log_{10}(R_{\max})$

O algoritmo OC3M também utiliza uma função polinomial de quarto grau a partir das max R entre Rrs(443)/Rrs(550) e Rrs(490)/Rrs(550), seguindo a equação:

$$C_a = 10,0^{(0,283 - 2,753 R_{3M} + 1,457 R_{3M}^2 - 0,659 R_{3M}^3 - 1,403 R_{3M}^4)} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde $R_{3M} = \log_{10}(R_{\max})$.

2.4 Comparação Estatística

As concentrações *in situ* de Chl-a (mg/m³) foram comparadas estatisticamente com as estimativas obtidas pelos algoritmos empíricos através de análises de correlação de Pearson, erro quadrático médio linearmente transformado – rmse-L (Carder et al., 2004) e o percentual da diferença média relativa (RDP) listados abaixo.

$$rmse - L = 0,5[(10^{+rmse} - 1) + (1 - 10^{-rmse})] \quad (\text{Eq. 6})$$

$$rmse = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\log_{10} \left(\frac{Chla_{alg}}{Chla_{insitu}} \right)^2 \right]} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$RDP = \sum_{n=1}^N \left(\frac{Chla_{alg} - Chla_{insitu}}{Chla_{insitu}} \right) \frac{1}{N} \times 100\% \quad (\text{Eq. 8})$$

As análises estatísticas adicionais seguiram o protocolo recomendado por Botter (1996).

2.5 Análises Laboratoriais

Amostras de água determinaram as propriedades de absorção do material particulado e da matéria orgânica dissolvida de acordo com Mitchell et al. (2000) e Mueller et al. (2003).

A concentração de clorofila-a in situ foi analisada pelo método fluorimétrico descrito por Welshmeyer (1994).

2.5 Dados Meteo-Oceanográficos

Os dados de precipitação pluviométrica foram retirados do site do Instituto de Meteorologia (INMET). Foram utilizados apenas para o melhor entendimento dos processos que se passavam dentro das imagens de vento e temperatura da superfície do mar relacionando com o aporte de constituintes opticamente ativos para o oceano. Para os campos de vento foram utilizadas as imagens obtidas pelo satélite QuickScat. Valores de temperatura da superfície do mar (TSM) foram conseguidos diretamente do site da Rede ANTARES que utiliza imagens do sensor MODIS/Aqua.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Medidas Radiométricas

Foram analisadas um total de 30 medidas radiométricas no comprimento de onda de 443 nm como pode ser visto na Tabela 3.1, das quais através dos intervalos inter-quartis efetivamente 24 valores de reflectância de sensoriamento remoto foram utilizadas (Figura 3.1).

Tabela 3.1: Estações, data de coleta e valores de Rrs(443) utilizados no box-plot. As estações contidas na tabela serão usadas até o final das análises de reflectância.

Estação	Data	Rrs (443nm)	Estação	Data	Rrs (443nm)
UBA 20	17/7/2006	0,0061	UBA 35	17/10/2007	0,0071
UBA 21	30/8/2006	0,0162	UBA 36	8/11/2007	0,0055
UBA 22	28/9/2006	0,0098	UBA 37	18/12/2007	0,0073
UBA 23	31/10/2006	0,0114	UBA 38	24/1/2008	0,0088
UBA 24	22/11/2006	0,0144	UBA 39	26/2/2008	0,0055
UBA 25	12/12/2006	0,0114	UBA 40	19/3/2008	0,0096
UBA 26	24/1/2007	0,0095	UBA 41	23/4/2008	0,0095
UBA 27	13/2/2007	0,0078	UBA 42	6/5/2008	0,0085
UBA 28	13/3/2007	0,0099	UBA 43	18/6/2008	0,0072
UBA 29	16/4/2007	0,0070	UBA 45	14/8/2008	0,0081
UBA 32	21/7/2007	0,0080	UBA 50	30/1/2009	0,0237
UBA 34	20/9/2007	0,0064	UBA 54	21/5/2009	0,0045

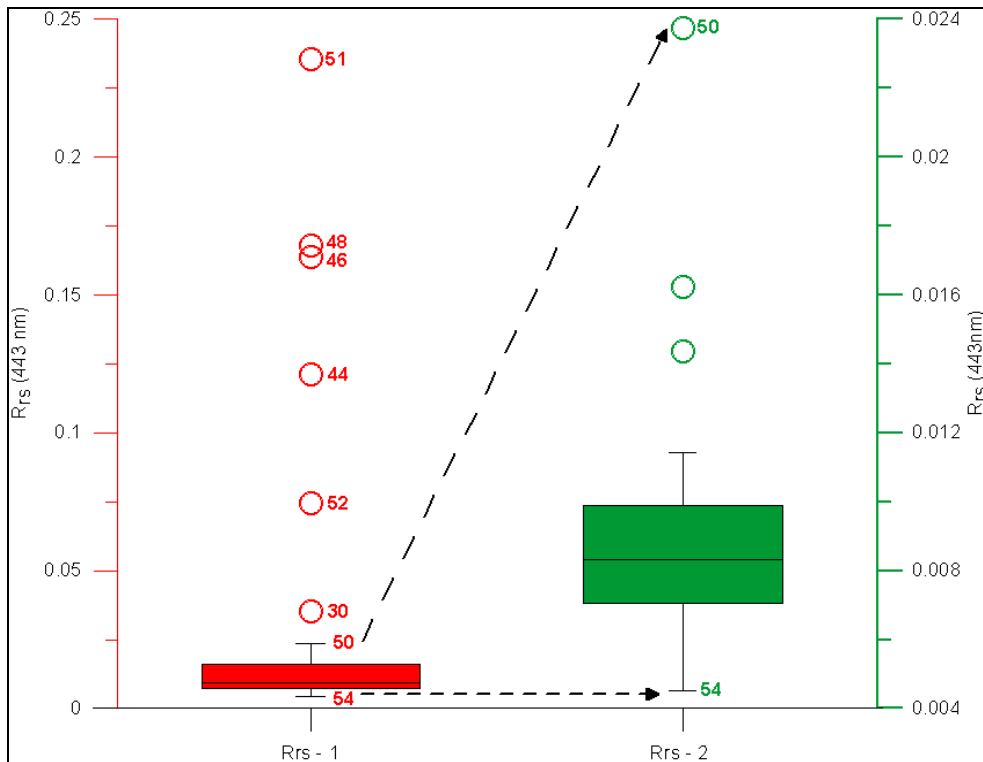


Figura 3.1: Box-plot da reflectância de sensoriamento remoto em 443 nm – Rrs(443). Em vermelho estão plotadas as 30 estações onde foram realizadas medidas radiométricas. Em verde, estão as 24 estações que foram efetivamente utilizadas no trabalho.

A partir do box-plot acima todas as análises de reflectância de superfície estarão baseadas nas estações que estão contempladas no intervalo Rrs – 2 (em verde) da Figura 3.1.

A Figura 3.2 ilustra a contribuição agrupada de cada constituinte bi-óptico (*Matéria Orgânica Colorida Dissolvida* – CDOM, *Material Particulado* – MP ou *Detrito* – DETRITO e *Fitoplâncton* - FITO) pela absorbância no comprimento de onda de 443 nm.

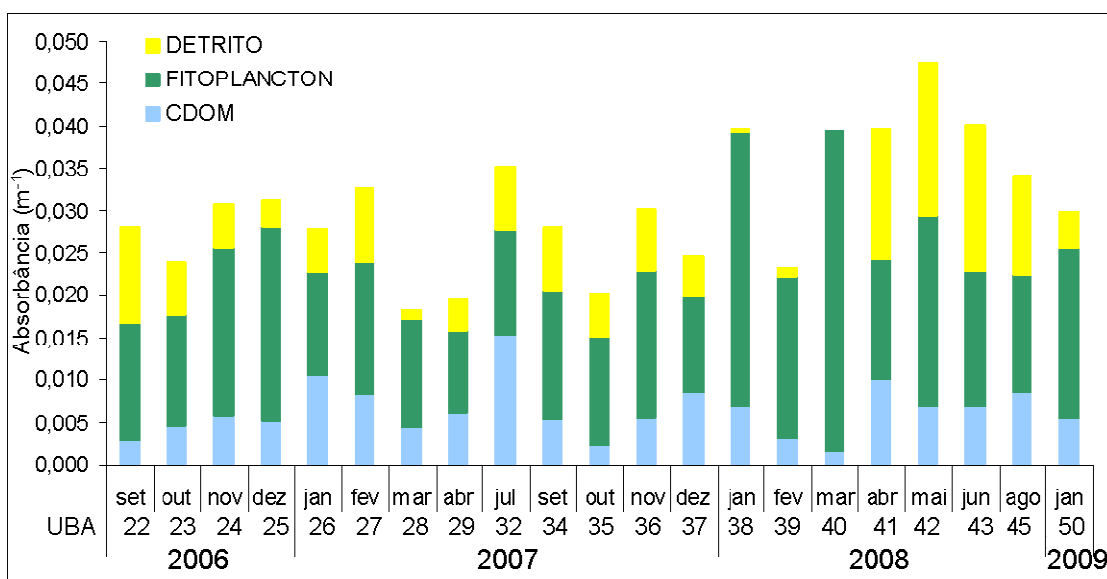


Figura 3.2: Barra agrupada da contribuição do CDOM, MP e FITO pela análise de absorbância em 443 nm (m^{-1}).

A figura 3.3 mostra a distribuição relativa dos componentes bio-óticos em cada estação de coleta em 443 nm.

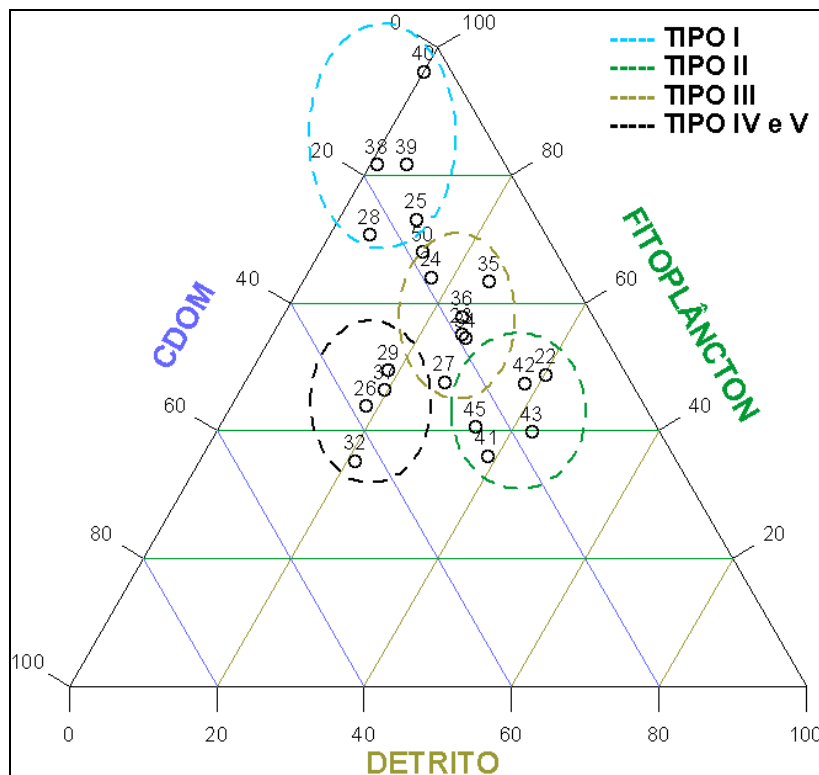
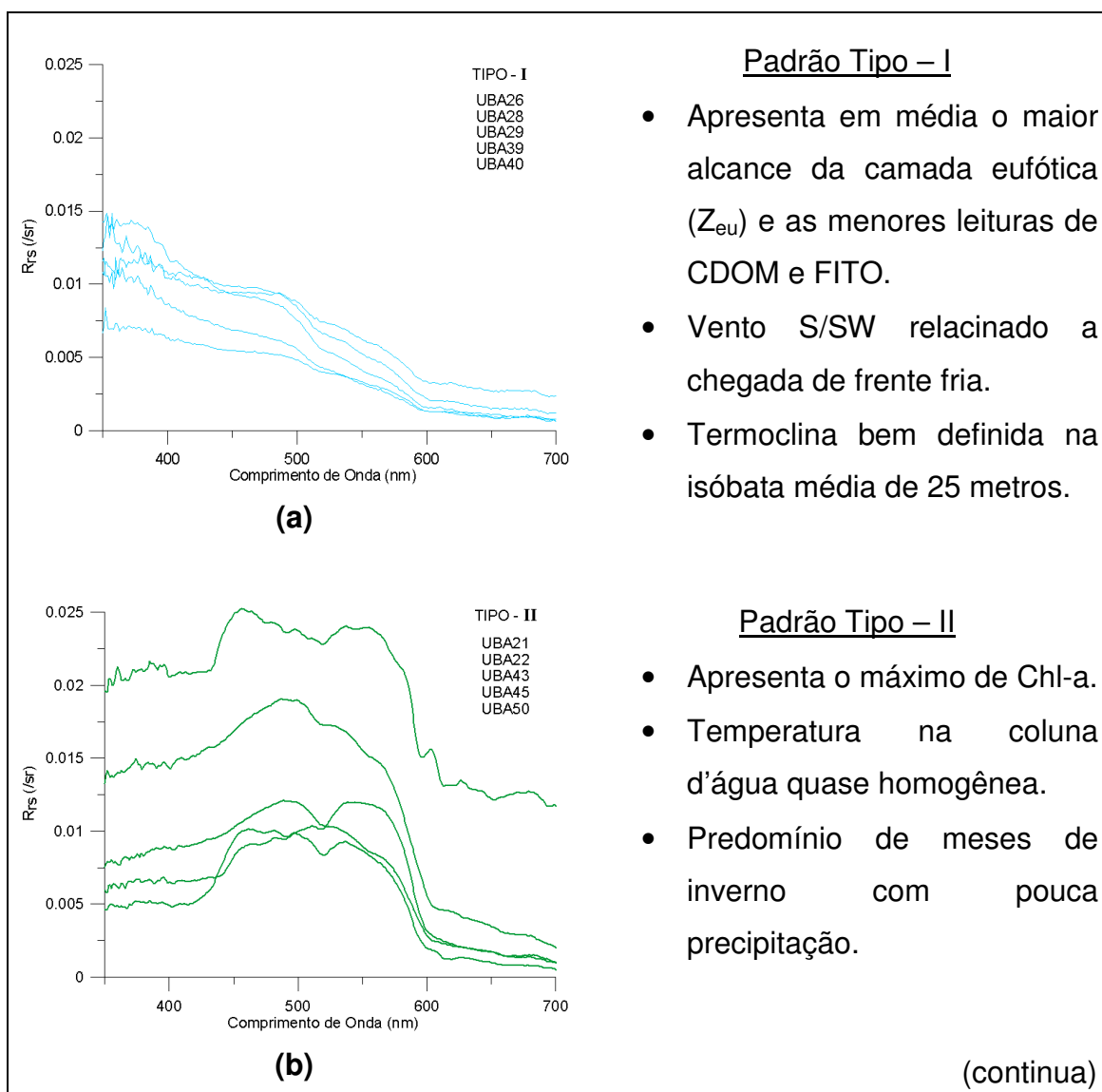


Figura 3.3: Gráfico ternário com a distribuição relativa de CDOM, MP e FITO analisados por absorbância no comprimento de 443 nm (m^{-1}).

No gráfico de distribuição relativa os dados foram agrupados de modo que se relacionam com a taxa de absorbância e com a assinatura espectral em (Tipo I, II, III, IV e V). As Figuras 3.4(a, b, c, d, e) ilustram os respectivos espectros de reflectância de sensoriamento remoto sobre a superfície marinha e suas relações com os parâmetros supracitados.



(continuação)

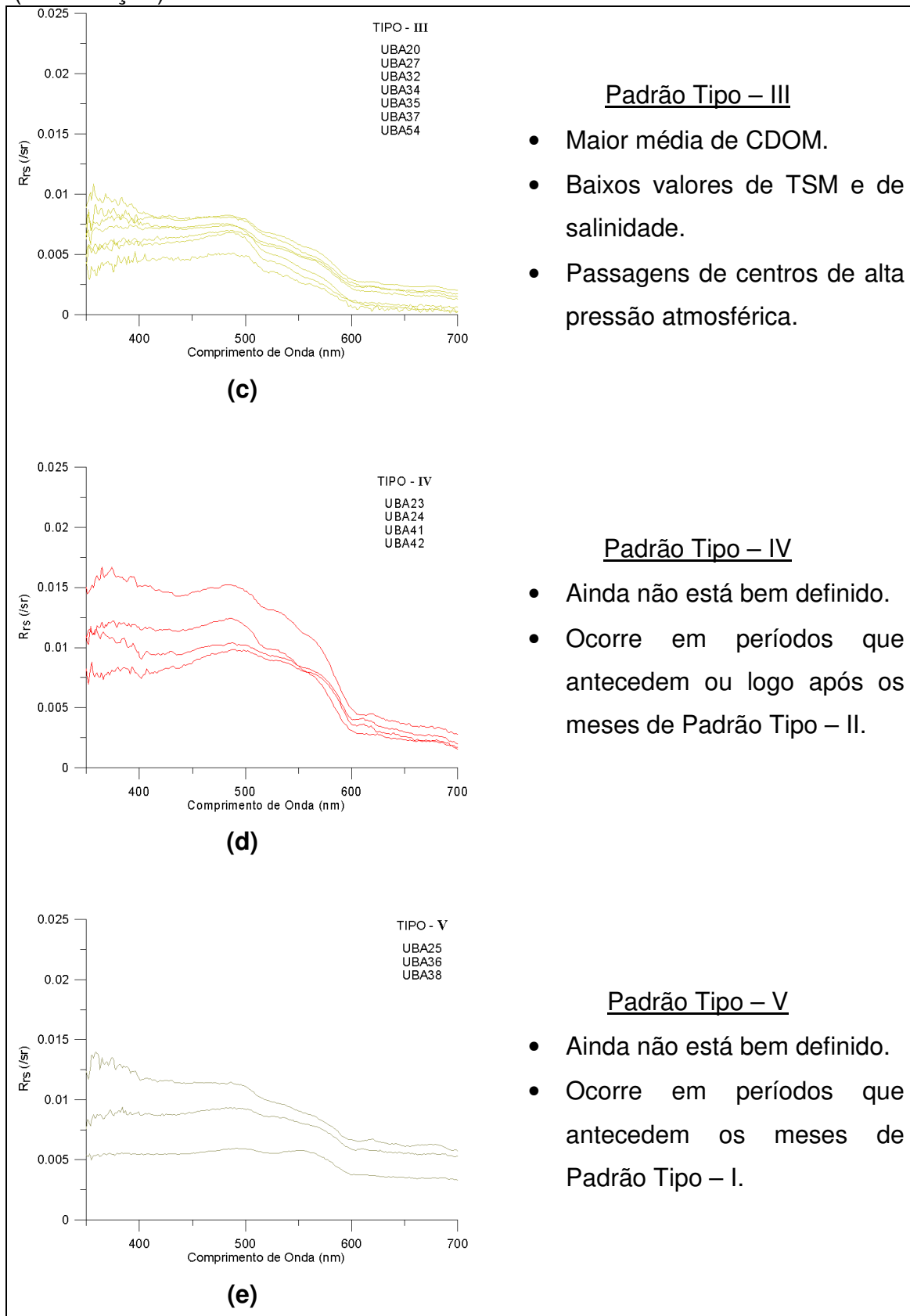


Figura 3.4 (a, b, c, d, e): curva espectral (350-700 nm) da reflectância de sensoriamento remoto e as características encontradas em cada padrão.

As curvas obtidas foram também descritas semelhantemente por Rudorff et al., (2007) e Kempel et al. (2007) para a mesma região de Ubatuba, sendo realizadas para o primeiro ponto de coleta que abrange os anos de 2005 e 2006. A maneira como foram descritos os espectros e suas características estão conforme citados em IOCCG (2000).

Os dados oceanográficos que auxiliaram a obter essa divisão foram analisados segundo a média, o máximo e mínimo da concentração de clorofila-a (Chl-a) na superfície; pelo CDOM, MP, FITO, camada da zona eufótica - Zeu (Tabela 3.2) e temperatura na coluna de água (Tabela 3.3) obtido pela união dos valores de cada padrão. Por exemplo, o padrão Tipo I teve sua média de temperatura na coluna de água (°C) calculada pela média aritmética das estações 26, 28, 29, 39 e 40 em cada profundidade.

Tabela 3.2: Dados auxiliares oceanográficos de clorofila-a in situ pelo método fluorimétrico, FITO, MP e CDOM pela análise da absorvância (m^{-1}) e Zeu calculada indiretamente pela profundidade máxima de visualização do disco de Secchi.

		Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Clorofila-a In situ	Média	0,3896	0,9852	0,3988	1,0462	0,7189
	Máximo	0,6855	1,9288	0,5467	1,9029	1,1220
	Mínimo	0,2726	0,5954	0,2097	0,5647	0,4572
FITO	Média	0,0183	0,0159	0,0135	0,0175	0,0242
	Máximo	0,0379	0,0202	0,0156	0,0226	0,0323
	Mínimo	0,0096	0,0137	0,0115	0,0132	0,0175
DETRITO	Média	0,0022	0,0111	0,0067	0,0112	0,0037
	Máximo	0,0051	0,0172	0,0089	0,0181	0,0074
	Mínimo	0,0000	0,0042	0,0048	0,0053	0,0003
CDOM	Média	0,0051	0,0059	0,0079	0,0068	0,0058
	Máximo	0,0105	0,0084	0,0153	0,0100	0,0069
	Mínimo	0,0015	0,0031	0,0023	0,0046	0,0051
Zeu	Média	46,18	25,15	39,11	22,95	29,77

Tabela 3.3: Média aritmética da temperatura da coluna da água em cada nos 5 tipo de padrões definidos.

Profundidade	Temperatura °C				
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo IV
0 metros	25,89	23,22	22,91	23,67	23,33
5 metros	25,50	22,60	22,37	23,28	22,36
10 metros	21,27	21,56	21,71	22,88	19,83
25 metros	17,92	21,05	20,08	21,93	17,37
~38 metros	16,71	20,15	18,69	18,99	16,83

3.2 Dados Meteo-Oceanográficos

As Figuras 3.5 (a, b) mostram a direção e intensidade dos ventos, TSM e Chl-a em meso escala que influenciam o litoral de Ubatuba.

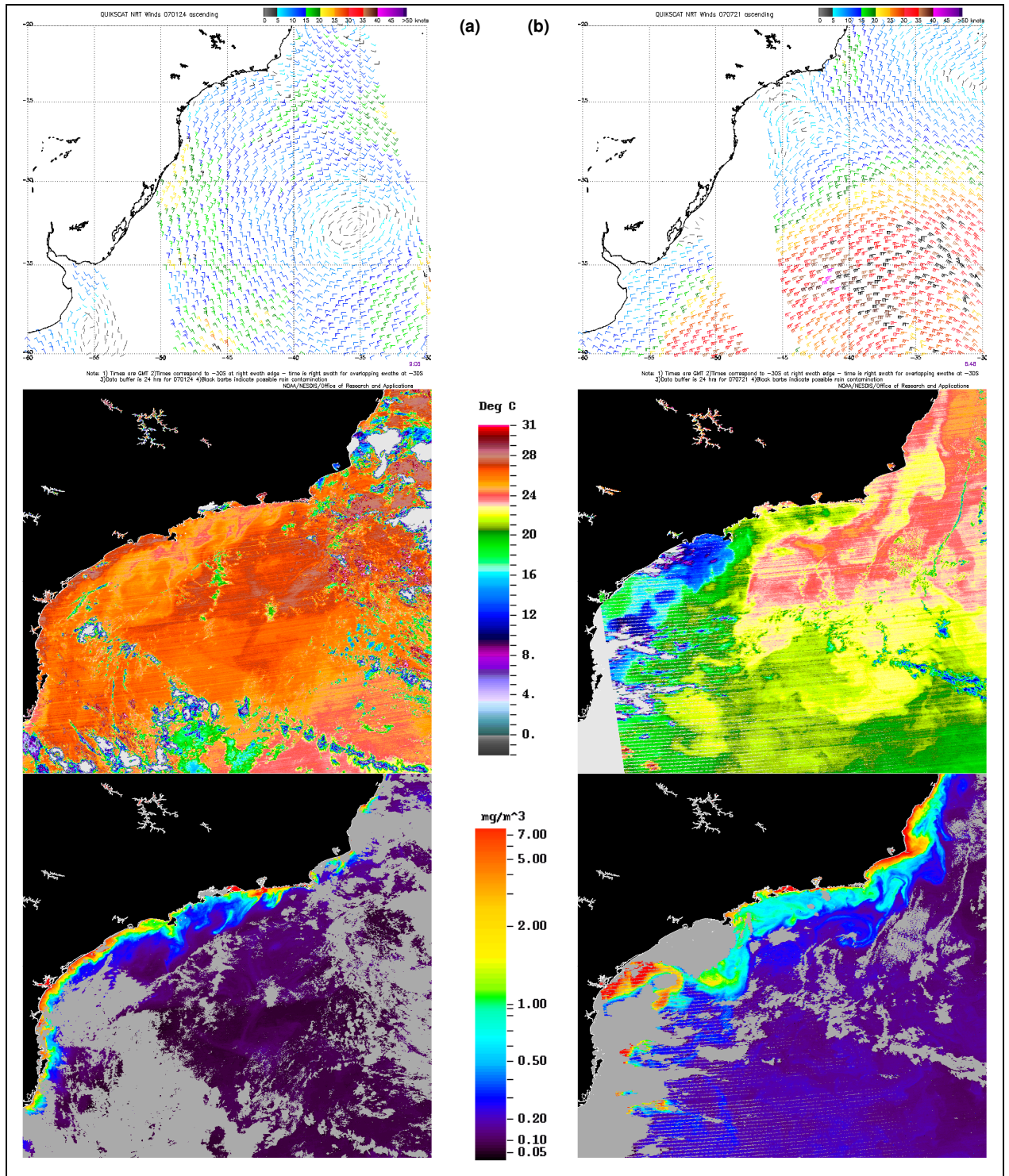


Figura 3.5 (a, b): Direção e intensidade do vento comparado às imagens de TSM e Chl-a do mesmo dia obtidas pela sensor MODIS/Aqua. (a) imagens referentes ao padrão Tipo I e (b) referente ao padrão Tipo III (imagens em diferentes escalas).

Essas imagens são ilustrações do que acontece em dois tipos de assinaturas espectrais distintas (Tipo I e Tipo II). Outros padrões não apresentam uma similaridade nesses aspectos, podendo ser mais influenciados por outras vertentes que não meteorológicas já descritas na Figura 3.4 e nas Tabelas 3.2 e 3.3.

3.3 Algoritmos Empíricos e Comparação Estatística

As estações em que foram realizados os cálculos empíricos e comparações estatísticas diferem dos utilizados para análise da reflectância marinha em alguns aspectos:

- Algumas estações, como a estação 20 e 21 foram adicionadas ao número amostral porque nesse caso existem os valores de Chl-a fluorimétricos. Os valores de concentração de clorofila-a calculados por cada algoritmo e por análise fluorimétrica estão descritos na Tabela 3.4.
- Outras estações adicionadas ou retiradas foram definidas de acordo com o *box plot* entre a diferença dos valores obtidos pelos algoritmos e os valores in situ (Tabela 3.5).

Tabela 3.4: Estações em que foram calculados os valores de concentração de Chl-a dos algoritmos e fluorimétricos.

Estação	Data	OC2	OC4	OC3M	<i>in situ</i>
UBA20	17/07/06	0,3805	0,3846	0,3785	0,4080
UBA21	30/08/06	1,2015	1,2364	1,1235	0,7805
UBA22	28/09/06	0,9536	0,9500	0,8884	0,5954
UBA23	31/10/06	0,7891	0,7732	0,7317	0,5647
UBA24	22/11/06	1,0159	1,0198	0,9412	0,7499
UBA25	12/12/06	1,1544	1,1526	1,0525	0,4572
UBA26	24/01/07	0,7764	0,7009	0,6762	0,2999
UBA27	13/02/07	0,8766	0,8658	0,8032	0,5467
UBA28	13/03/07	0,5251	0,4265	0,4250	0,2726
UBA29	16/04/07	0,4320	0,3181	0,3169	0,3038
UBA30	04/05/07	1,0106	1,0138	0,9666	1,2481
UBA32	21/07/07	1,0106	1,0138	0,9666	0,3032
UBA34	20/09/07	0,8509	0,8383	0,7786	0,4949
UBA35	17/10/07	0,7809	0,7646	0,7122	0,3220
UBA36	08/11/07	1,8489	2,0858	1,7844	0,5774
UBA37	18/12/07	0,4516	0,4468	0,4374	0,2097
UBA38	24/01/08	1,4168	1,5036	1,3266	1,1220
UBA39	26/02/08	0,6900	0,5523	0,5473	0,6855
UBA40	19/03/08	0,3776	0,2957	0,2963	0,3862
UBA41	23/04/08	1,2337	1,2754	1,1375	0,9671
UBA42	06/05/08	1,2887	1,3427	1,1952	1,9029
UBA43	18/06/08	3,3414	3,7026	3,6687	1,9288
UBA44	17/07/08	5,3997	5,3322	5,8337	0,3456
UBA45	14/08/08	1,3664	1,4396	1,3637	0,7364
UBA46	02/09/08	2,4503	2,7601	2,6716	0,7581
UBA48	11/11/08	2,5877	3,1584	2,4778	0,5206
UBA50	30/01/09	3,0190	3,9270	3,1375	0,8848
UBA51	19/02/09	1,6186	1,7586	1,5578	0,4839
UBA52	12/03/09	2,6822	2,7871	2,3104	0,6634
UBA54	21/05/09	0,4741	0,4669	0,4493	0,5071

Os valores encontrados de Chl-a *in situ* pelo método fluorimétrico variaram entre 0,2 a 2 $\mu\text{g/L}$ o que também foi identificado por Aidar (1993) e Rudorff (2007).

Tabela 3.5: Valores de Δ Clorofila e o desvio padrão de cada cálculo.

Δ Clorofila		
OC2 - <i>in situ</i>	Δ OC4 - <i>in situ</i>	Δ OC3M - <i>in situ</i>
-0,0275	-0,0234	-0,0295
0,4210	0,4559	0,3430
0,3582	0,3546	0,2931
0,2244	0,2085	0,1670
0,2660	0,2699	0,1913
0,6972	0,6954	0,5953
0,4765	0,4010	0,3763
0,3298	0,3191	0,2564
0,2525	0,1540	0,1524
0,1281	0,0142	0,0131
-0,2375	-0,2343	-0,2815
0,7074	0,7105	0,6634
0,3560	0,3434	0,2837
0,4589	0,4427	0,3902
1,2715	1,5084	1,2070
0,2419	0,2371	0,2277
0,2948	0,3815	0,2045
0,0045	-0,1331	-0,1382
-0,0086	-0,0906	-0,0899
0,2667	0,3084	0,1704
-0,6142	-0,5602	-0,7078
1,4126	1,7738	1,7398
5,0541	4,9866	5,4881
0,6300	0,7032	0,6272
1,6922	2,0020	1,9135
2,0671	2,6378	1,9572
2,1342	3,0422	2,2527
1,1347	1,2747	1,0739
2,0188	2,1237	1,6470
-0,0330	-0,0401	-0,0578
Desvio Padrão	1,0720	1,1610

Calculado o delta clorofila. foi feito o *box plot* definindo os intervalos inter-quartis que foram utilizados (Figura 3.6). Como mostra a figura, a estação 50 só é caracterizada como extrema (fora do limite aceitável) no cálculo do algoritmo OC4V4 do SeaWiFS. Porém, para fins de exemplificação a estação 50 foi retirada de todos os cálculos, juntamente com a estação 44.

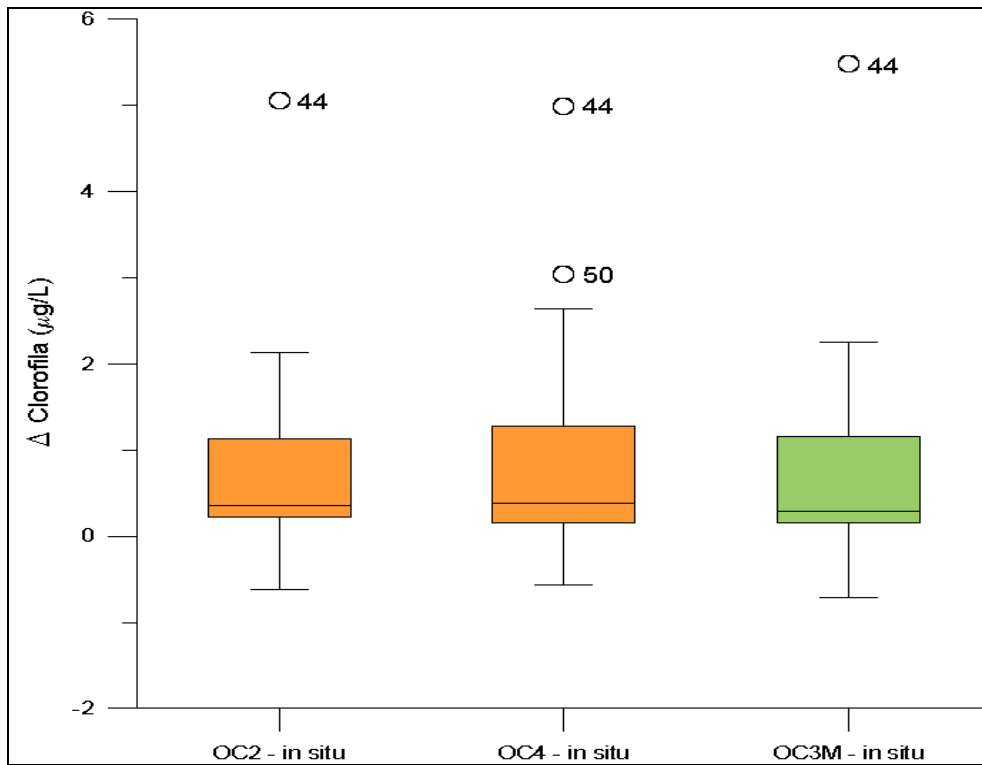


Figura 3.6: *Box plot* do delta clorofila entra os algoritmos empíricos e os valores fluorimétricos (*in situ*). Em laranja (OC2 e OC4) referentes ao sensor SeaWiFS, em verde (OC3M) referente ao sensor MODIS.

Os gráficos (a, b, c) da Figura 3.7 são as correlações entre os dados aceitos para análise.

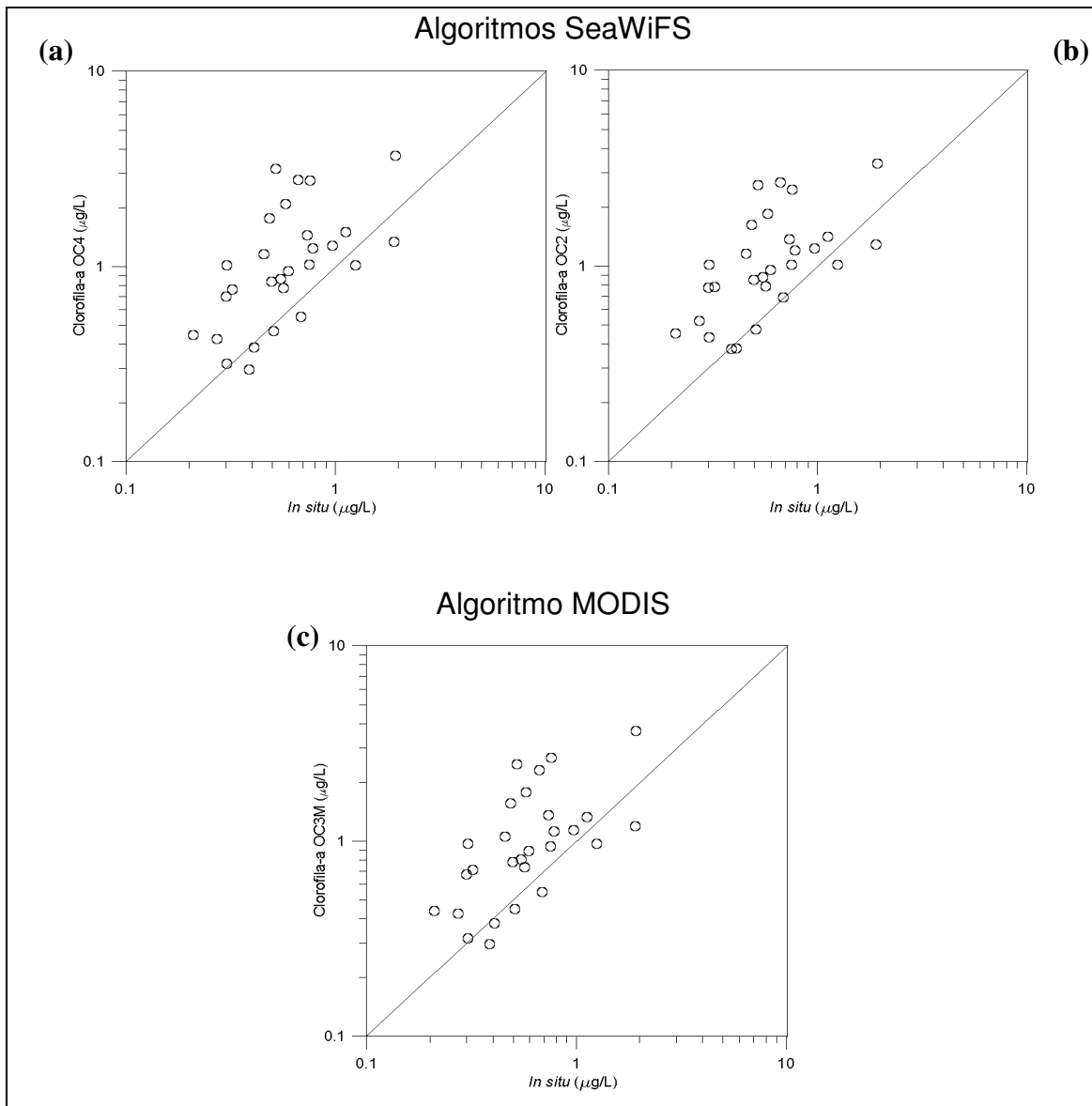


Figura 3.7 (a, b, c): Correlação entre os valores fluorimétricos e os calculados pelos algoritmos empíricos. (a) Correlação entre OC2, (b) correlação entre OC4 e (c) correlação entre OC3M.

Nas 3 correlações podemos observar que os algoritmos superestimaram os valores obtidos por fluorimetria. Isso se deve à influência do CDOM e outros pigmentos próximos ao comprimento de onda da Chl-a que são somados às bandas dos sensores.

A Tabela 3.6 mostra valores de correlação e rmse-L e RDP para as estações.

Tabela 3.6: Valores de r^2 , rmse-L e RDP das algoritmos empíricos

Algoritmo	Desvio Padrão	r^2	Rmse-L	RDP
OC2v4	1,0720	0,2651	2,3977	99,4556
OC4v4	1,1780	0,2463	2,3599	104,0941
OC3M	1,1610	0,2924	2,1005	86,2103

Pelos valores encontrados pudemos observar que o algoritmo com o melhor desempenho foi o OC3M, assim como foi encontrado por Rudorff et al. (2007) para a região de Ubatuba. Todavia, os valores obtidos nesse trabalho foram aquém dos esperados. Para Rudorff et al. (2007), o algoritmo OC3M apresentou valores de rmse-L (0,9), RDP (72,5) e r^2 (0,55) para um n amostral igual a 14 enquanto para essa pesquisa o n amostral foi de 28 estações e os resultados foram menos robustos.

Garcia et al. (2006) também avaliaram os algoritmos empíricos OC4v4 e OC2v4 para a região costeira do Atlântico Sudoeste obtendo resultados mais consistentes, com rmse-L de 0,54 e 0,49, RDP de 26,9 e 11,0 e r^2 de 0,82 e 0,83 para os algoritmos OC4v4 e OC2v4, respectivamente e n amostral igual a 72 amostras.

4 CONCLUSÃO

4.1 Horário do Satélite

Foi analisado o horário da passagem do satélite pela região de estudo, que ocorre entre 15:50 (GMT) e 17:32 (GMT) com pelo menos um (1) pixel de imagem. Ainda antes da conclusão dessa pesquisa, concordou-se com os coordenadores do projeto Antares de realizar as medidas radiométricas in situ o mais próximo desse período, sabendo que ambos serão analisados simultaneamente na continuação desse trabalho. As medidas radiométricas no local variaram entre 14:25 até 16:30 horas (GMT).

4.2 Medidas Radiométricas

Quando plotamos o *box plot* das estações juntas (Figura 3.1), observou-se a reflectância de sensoriamento remoto (Rrs) de algumas medidas excedendo em ordem de dez os valores médios encontrados - estações 51, 48, 46, 44, 52 e 30. Esses valores expúrios de Rrs serão reavaliadas desde seus arquivos brutos. Dentro dos valores incluídos no Rrs – 2 (verde) também observou-se *flags*. Esses valores serão analisados de forma a serem considerados estudos de caso à parte durante a continuidade da pesquisa.

Observou-se que não existe bem definido um padrão sazonal para os acontecimentos e curvas espectrais encontradas. Por ser uma região costeira (águas de Caso 2) e rasa, os processos norteadores das interferências bio-ópticas podem ser relativos a processos locais (índice pluviométrico da região, geomorfologia do continente). Porém, como observados pelas imagens de satélite, os eventos locais podem estar relacionados aos de meso escala, como passagens de frentes frias e centros de alta e baixa pressão.

A continuação das coletas na estação de Ubatuba e análises detalhadas de outros padrões poderão ajudar a esclarecer alguns padrões de reflectância. Para isso, novas parcerias devem ser feitas no âmbito da oceanografia física.

4.3 Análises Meteo-oceanográficas

O objetivo completo desse trabalho só irá se concluir quando for acoplado aos dados oceanográficos e radiométricos *in situ* um maior grupo de informações meteo-oceanográficas (pluviosidade, ventos, TSM). Como continuação dessa proposta irá se iniciar o processamento das imagens de satélite exatamente para a região, utilizando os *scripts* que existem e aperfeiçoando-os. Assim poderemos passar de uma análise pontual para global e analisar de forma holística as respostas da região costeira do estado de São Paulo como um todo.

4.4 Algoritmos Empíricos e Estatística

Em águas do Caso 1, a concentração de propriedades ópticas que interferem na medida de clorofila-a é bem menor que comparada a águas de Caso 2. Por isso, quando somamos a contribuição continental nas águas de Caso 2, o sensor tende a superestimar os valores de Chl-a.

Os algoritmos OC2v4, OC4v4 e OC3M foram desenvolvidos empiricamente para águas do tipo Caso 1, portanto precisam ser desenvolvidos novos algoritmos regionais para o Caso 2 uma vez que o fitoplâncton e as substâncias covariantes determinam as propriedades ópticas desse tipo de água.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ pelo auxílio nas pesquisas. Ao Dr. Milton Kampel pela orientação e atenção que me foi dada. Ao INPE pelo suporte para realizar as coletas em campo. Ao Instituto Oceanográfico onde posso trabalhar minhas análises. Ao Dr. Salvador A. Gaeta que me proporciona utilizar de seu laboratório para a pesquisa. A Msc. Mayza Pompeu pelo apoio em campo e nas análises laboratoriais. A todos que de alguma forma estiveram participando desse projeto ao longo do ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aidar, E.; Gaeta, S. A.; Giancesella-Galvão, F.; Kutner, M. B.; Teixeira, C. Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas na região de Ubatuba, SP. **Publicação Especial Instituto Oceanográfico**, v. 10, p. 9-943, 1993.

Botter, D. A.; Paula, G. A.; Leite, J. G. e Cordani, L. K. Noções de Estatística. São Paulo, **IME-USP**, 1996.

Carder, K. L.; Chen, F. R.; Cannizzaro, J. P.; Campbell, J. W.; Mitchell, B. G. Performance of the MODIS semi-analytical ocean color algorithm for chlorophyll-a. **Advances in Space Research**, v. 33, n.7, p. 1152-1159, 2004.

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

Emilson, I. The shelf and coastal waters off Southern Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**. São Paulo, 17(2): 101-112, 1961.

Fougnie, B.; Frouin, R.; Lecomte, P.; Deschamps, P.-Y. Reduction of Skylight Reflection Effects in the Above-Water Measurement of Diffuse Marine Reflectance. **Applied Optics**. v. 38, n.18, p. 3844-3856, 1999.

Garcia, V. M. T.; Signorini, S.; Garcia, C. A. E.; McClain, C. R. Empirical and semi-analytical chlorophyll algorithms in the southwestern Atlantic coastal region (25-40°S and 60-45°W). **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n.8, p. 1539-1562, 2006.

Hazen, A., "The Measurement of the Colors of Natural Waters," **American Chemist Journal** (18:264), 1896.

IOCCG. Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and Other Optically-Complex, Waters, *in* SATHYENDRANATH, S., ed., **Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group**, Dartmouth, IOCCG, p. 140, 2000.

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.

Kampel, M.; et. al. Bio-Optical Variability in Coastal Waters of Southeast Brazil. Coastal Ocean Remote Sensing. **Proc. of SPIE Vol. 6680**, p. 08, 2007.

Lorenzetti, 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.

Mitchell, B.G.; et. al. Determination of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. **Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation**, Revision 2. Chapter 12, pp125-153, 2000

Mobley, C. D. Estimation of the Remote-Sensing Reflectance from Above-Surface Measurements. **Applied Optics**, v. 38, n.36, p. 7442-7455, 1999.

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.

O'Reilly, J. E.; Maritorena, S.; Siegel, D. A.; O'Brien, M. C.; Toole, D.; Mitchell, B. G.; Kahru, M.; Chavez, F. P.; Strutton, P.; Cota, G. F.; Hooker, S. B.; McClain, C. R.; Carder, K. L.; Müller-Karger, F.; Harding, L.; Magnuson, A.; Phinney, D.; Moore, G. F.; Aiken, J.; Arrigo, K. R.; Letelier, R.; Culver, M. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS, OC2, and OC4: Version 4. In: Hooker, S. B.; Firestone, E. R., eds., **SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, Part 3, NASA Technical Memorandum, v. 11**: Greenbelt, NASA Goddard Space Center, p. 9 – 27, 2000.

Rudorff, F.M. Comparação de algoritmos empíricos na estimativa da concentração de clorofila-*a* na região costeira de Ubatuba, litoral norte de São Paulo. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE. p. 4675-4682, 2007.

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.

Welscheyer, N. A.; Fluorometric Analysis of Chlorophyll-*a* in the Presence of Chlorophyll-*b* and Pheopigments. **Limnology and Oceanography**, 39: 1985-1992. 1994