



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.iousp@gmail.com

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

COLABORADORES

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

INPE
São José dos Campos
Julho de 2011

RESUMO

Os constituintes opticamente ativos da água do mar possuem características ópticas que concedem diferentes cores ao oceano, podendo ser analisados remotamente pela reflectância marinha na faixa de luz visível dentro ou sobre a água. Nos casos de águas oceânicas abertas do Caso1. A concentração dos componentes opticamente ativos mantém-se praticamente constante ao longo do tempo, fazendo com que os sensores orbitais funcionem bem nestas condições. Onde os constituintes ópticos sofrem maiores interferências, como é o caso das regiões costeiras do Caso2. Efeitos antropogênicos, aporte de matéria orgânica e inorgânica, mudanças na direção e intensidade do vento fazem necessária a aquisição de dados oceanográficos complementando as medidas radiométricas e auxiliando a análise da reflectância marinha em entender melhor os processos envolvidos na região litorânea. A aquisição destes dados fundamentais para interpretação do sensoriamento remoto das águas costeiras é realizada através da rede de observações ANTARES no litoral de Ubatuba, estado de São Paulo. Nesta pesquisa foram analisados dados de julho de 2006 até dezembro de 2010 da rede ANTARES, relacionando a reflectância marinha, medida por meio de radiômetros, com os dados oceanográfico, ambos coletados *in situ*. Para identificar quais fatores alteram a concentração dos constituintes da água do mar. Objetivou-se também simular as bandas de leitura dos sensores orbitais para comparar os valores de clorofila-a obtidos com os algoritmos empíricos e os analisados fluorimetricamente. Foram identificados cinco padrões não sazonais de reflectância da cor do oceano e um melhor desempenho das versões atuais dos algoritmos empíricos, embora estes continuem a superestimar os valores *in situ*. Essa pesquisa deverá auxiliar o desenvolvimento e validação de algoritmos da cor do oceano para o litoral de Ubatuba.

ABSTRACT

Some water components have optical properties that give different colors to the ocean water. These optical components can be assessed through the marine reflectance in the visible wavelength under and above water. In open oceans the optical components concentration are constant during the time and the orbital sensors work better. In coast waters, interferences from the continent like anthropogenic discharges, input of organic and inorganic matter, wind direction and intensity make this region a Case2 when the satellites have a hard time determining these concentrations and identifying the process involved in the water color. 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 December 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 empiric algorithms order to compare them to on site fluorimetric readings. Five differences non-seasonal ocean color patterns were observed. 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).	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).....	4
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).	6
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.	7
Figura 3.1: Índice de precipitação pluviométrica mensal na região de Ubatuba.	15
Figura 3.2: Valores de absorbância de CDOM, DETRITO e FITO no comprimento de onda de 443nm em casa estação. Espaços em branco são estações onde houve falhas nas análises.	16
Figura 3.3: Concentração de clorofila-a em mg m ⁻³ analisada fluorimetricamente para cada estação de coleta. Gráfico ternário com a distribuição relativa de CDOM, MP e FITO analisados por absorbância no comprimento de 443 nm (m ⁻¹).	17
Figura 3.4: Porcentagem relativa de CDOM, DETRITO e FITO em cada estação no comprimento de onda de 443nm. Espaços em branco significam que não há dados de algum destes constituintes.	17
Figura 3.5: Gráfico ternário da absorbância dos componentes opticamente ativos CDOM, DETRITO E FITO (m ⁻¹) no comprimento de onda de 443nm.	18
Figura 3.6: Análise dos espectros de Rrs. As setas vermelhas no Box-Plot indicam quais são os espectros dados como outliers nos centros de banda de 412 e 531nm e se repetem para os outros centros de banda. Estes outliers correspondem as setas vermelhas da figura (b) que são os dados espúrios. <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.	19

Figura 3.7: Cluster das estações agrupando os espectros de Rrs com assinaturas semelhantes por correlação.....	19
Figura 3.8: Espectros de reflectância de sensoriamento remoto gerados a partir da média de cada grupo selecionado pelo cluster.	20
Figura 3.9: Imagem de vento do sensor QuickScat - esquerda - e TSM do sensor MODIS - direita - referentes a estação UBA28 de janeiro de 2007 que faz parte do espectro TIPO 2. Observa-se um vento predominante de nordeste e a temperatura da superfície do mar próxima aos 25 °C.....	22
Figura 3.10: Box-plot com as estações que mostraram um desvio padrão em comparação ao valor <i>in situ</i> superiores a 100%.	24

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1: Atividades desenvolvidas nas coletas mensais na estação fixa ANTARES-Ubatuba. (X): atividade realizada, (-) atividade não realizada ou dados ausentes.	9
Tabela 2.2: Coeficientes dos algoritmos da versão 6 dos sensores orbitais MODIS, MERIS e SeaWiFS e os comprimentos de onda no azul e no verde que devem ser usados em cada caso.	13
Tabela 3.1: Grupos de espectros que definirão os tipos de assinatura espectral utilizados para cada massa d'água.	20
Tabela 3.2: Média das variáveis de cada grupo que formam os cinco tipos de espectros. CDOM, DETRITO e FITO estão em (m^{-1}), Secchi (m), Clo-a ($mg\ m^{-3}$) e TSM (°C).	21
Tabela 3.3: Estatísticas realizadas com os algoritmos empíricos para avaliar o desempenho destes comparados aos valores fluorimétricos <i>in situ</i>	25

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACAS	Água Central do Atlântico Sul
AT	Água Tropical
CB	Corrente do Brasil
CDOM	Matéria Orgânica Dissolvida Colorida (m^{-1})
Clo- <i>a</i>	Concentração de clorofila- <i>a</i> ($mg\ m^{-3}$)
CSE	Corrente Sudeste Equatorial
CSM	Clorofila na Superfície do Mar
Ed(λ)	Irradiância espectral incidente na superfície do mar
FITO	Absorbância do Fitoplâncton (m^{-1})
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
LaPP	Laboratório de Produção Primária
Lw(λ)	Radiância espectral emergente da água
MERIS	MEdium Resolution Imaging Spectrometer
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(λ)	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 Prefácio	1
1.2 Aspectos Gerais	2
1.3 Área de Estudo	6
1.4 Objetivos	8
2 MATERIAIS E MÉTODOS	
2.1 Coleta de Dados <i>in situ</i>	9
2.2 Dados Meteo-Oceanográficos	10
2.3 Análises Laboratoriais	10
2.4 Medidas Radiométricas	10
2.5 Algoritmos Empíricos	11
2.6 Comparação Estatística	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	
3.1 Coleta de Dados	15
3.2 Dados Meteo-Oceanográficos	15
3.3 Análises Laboratoriais	16
3.4 Medidas Radiométricas	18
3.4 Algoritmos Empíricos e Comparação Estatística	24
4 CONCLUSÃO	26
AGRADECIMENTOS	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

1.1 Prefácio

ANTARES é uma rede de observações latino-americana criada em 2003 com apoio internacional cujo objetivo é o estudo de mudanças de longo período nos ecossistemas costeiros em torno da América Latina. 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*. (Informações distribuídas 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* na região sudeste. 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). 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).

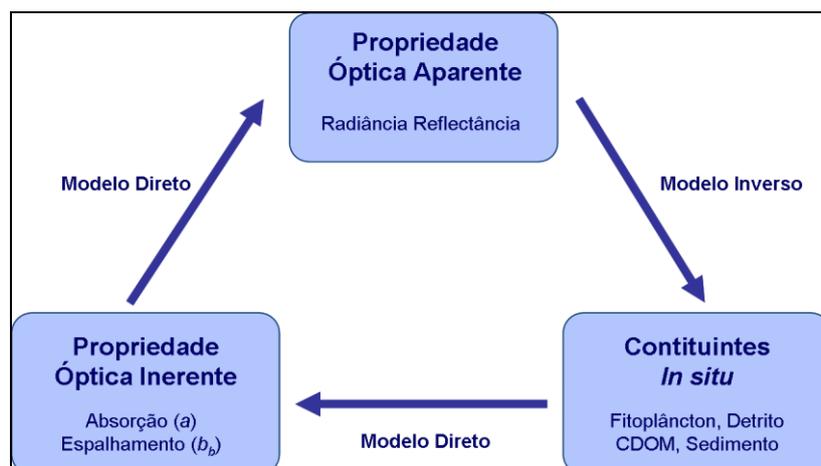


Figura 1.1: Diagrama esquemático da inter-relação entre as propriedades ópticas aparentes e inerentes. O modelo direto é a análise intrínseca dos constituintes da água para estimar a curva óptica. Modelo inverso é o processo do espectro óptico para estimar os constituintes da água (Ilustração adaptada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

As propriedades ópticas aparentes incluem 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.

A reflectância é uma das propriedades ópticas aparentes que auxilia em outras medidas radiométricas como absorvância, espalhamento, concentração de clorofila-a e que vão depender das características físicas, químicas e biológicas do corpo d'água. Cada caso de água oceânica (Casos 1 e 2) pode ser caracterizado pela sua assinatura espectral de reflectância. Porém, águas do 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 (Sathyendranath, 2005). 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 (Figura 1.2).

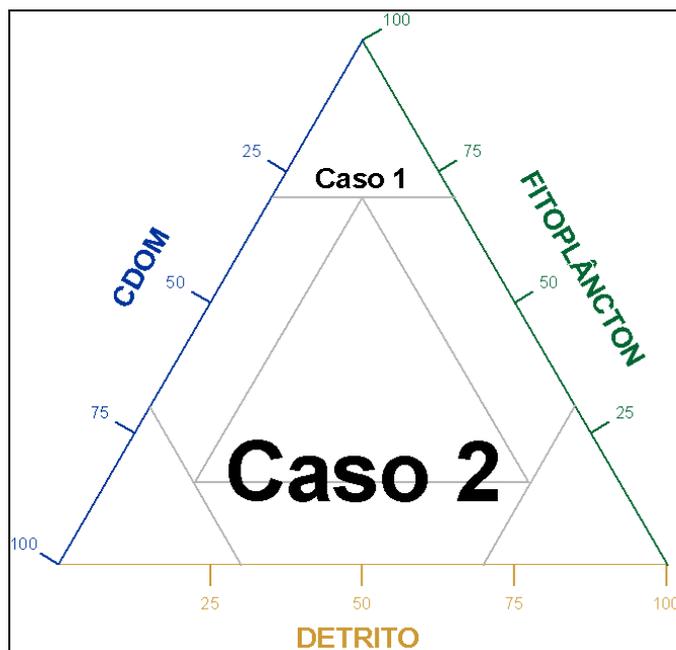


Figura 1.2: Diagrama ternário representativo de águas Caso 1 e 2 em função da concentração dos constituintes ópticos (Ilustração adaptada de Prieur & Sathyendranath, 1981).

A reflectância de sensoriamento remoto da superfície da água é realizada com o uso de 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 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 sinópticas, 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 área de estudo 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 (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. A estação fixa de coleta deste projeto está localizada na isóbata média de 40 metros (23°36'S e 44°58'W). Castro *et al.* (1987) afirma 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).

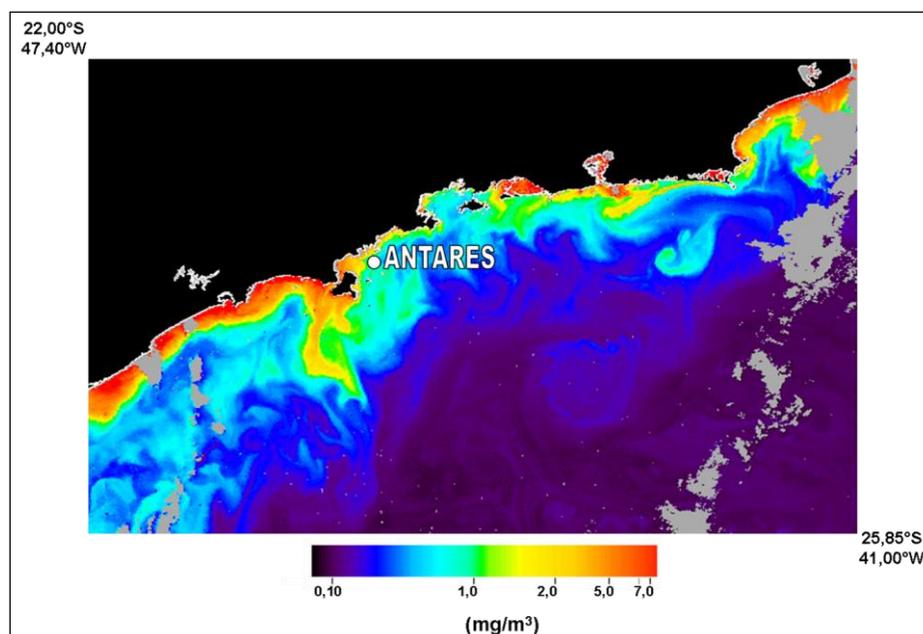


Figura 1.3: Localização da estação de coleta Antares (23°36'S e 44°58'W) sobreposta a imagem de clorofila-a (sensor MODIS/Aqua dia 16/08/2009 – 16:35 GMT).

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, características do Atlântico Tropical. 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 1.4a.

A ACAS 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) 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), como ilustrado na Figura 1.4b.

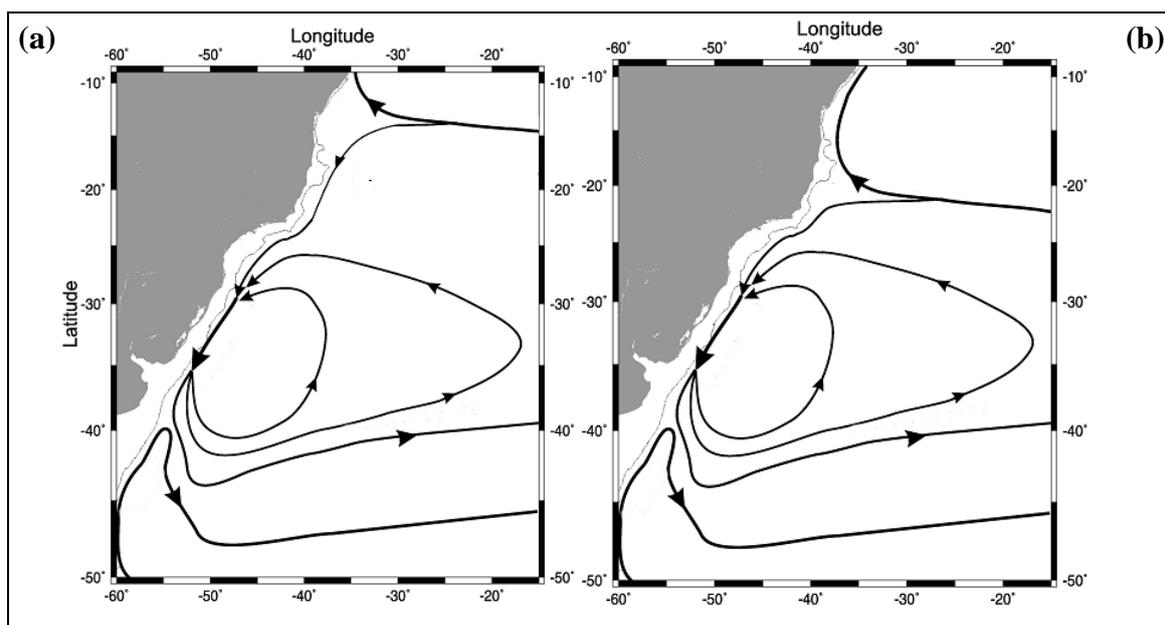


Figura 1.4 (a,b): Representação da circulação da Água Tropical (AT) e da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) (Baseada em Stramma & England, 1999).
(a) AT - 0 a 140 metros; (b) ACAS - 140 – 1060 metros.

Durante o verão, a 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 compará-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 aos sensores orbitais SeaWiFS, MODIS e MERIS.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coleta de Dados *in situ*

As coletas foram realizadas mensalmente a bordo do B/O Veliger II do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo na estação fixa situada em 23°36'S – 44°58'W. Em cada estação foram realizadas medidas radiométricas sobre a superfície do mar com o radiômetro hiperspectral Field Spec HandHeld e da coluna d'água com o radiômetro perfilador *free fall* Satlantic. Foram feitas coletas de água para análise do coeficiente de absorção da Matéria Orgânica Dissolvida Colorida (CDOM), Material Particulado (MP) e Clorofila-a (Clo-a) nas profundidades de 0, 5, 10, 25 e 38 metros. Esta coleta foi feita utilizando garrafas de Niskin e Go-Flow, sendo realizadas simultaneamente para todas as profundidades. As análises destes componentes foram feitas no Laboratório de Produção Primária do IOUSP (LaPP/IOUSP). Cada coleta mensal recebeu uma nomenclatura como descrito na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Atividades desenvolvidas nas coletas mensais na estação fixa ANTARES-Ubatuba. (X): atividade realizada, (-) atividade não realizada ou dados ausentes.

NOME	DATA	F	S	CL	MP	CD	NOME	DATA	F	S	CL	MP	CD	NOME	DATA	F	S	CL	MP	CD
2006						2008						2009								
UBA20	17/07/2006	X	X	-	-	-	UBA38	24/01/2008	X	-	X	X	X	UBA56	29/07/2009	X	X	X	X	X
UBA21	30/08/2006	X	X	X	-	X	UBA39	26/02/2008	X	-	X	X	X	UBA57	27/08/2009	X	X	X	X	X
UBA22	28/09/2006	X	X	X	X	X	UBA40	19/03/2008	X	-	X	-	X	-----	-----	-	-	-	-	-
UBA23	31/10/2006	X	-	X	X	X	UBA41	23/04/2008	X	X	X	X	X	UBA58	20/10/2009	X	X	X	X	X
UBA24	22/11/2006	X	-	X	X	X	UBA42	06/05/2008	X	X	X	X	X	UBA59	24/11/2009	X	X	X	X	X
UBA25	12/12/2006	X	-	X	X	X	UBA43	18/06/2008	X	X	X	X	X	UBA60	10/12/2009	X	X	X	X	-
2007						UBA44	17/07/2008	X	-	X	X	X	2010							
UBA26	24/01/2007	X	-	X	X	X	UBA45	14/08/2008	X	X	X	X	X	UBA61	28/01/2010	X	X	X	X	X
UBA27	13/02/2007	X	-	X	X	X	UBA46	02/09/2008	X	X	X	X	X	-----	-----	-	-	-	-	-
UBA28	13/03/2007	X	X	X	X	X	UBA47	14/10/2008	-	X	X	X	X	UBA62	30/03/2010	X	X	X	X	X
UBA29	16/04/2007	X	-	X	X	X	UBA48	11/11/2008	X	X	X	X	X	UBA63	13/04/2010	X	X	X	X	X
UBA30	04/05/2007	X	-	X	X	X	UBA49	12/12/2008	-	X	X	X	X	-----	-----	-	-	-	-	-
UBA31	28/06/2007	-	X	X	X	X	2009						UBA64	23/06/2010	X	-	X	X	X	
UBA32	21/07/2007	X	X	X	-	X	UBA50	30/01/2009	X	X	X	X	X	UBA65	06/07/2010	-	-	X	X	X
UBA33	30/08/2007	-	X	X	-	X	UBA51	19/02/2009	X	X	X	X	X	UBA66	10/08/2010	X	-	X	X	X
UBA34	20/09/2007	X	X	X	-	X	UBA52	12/03/2009	X	X	X	X	X	UBA67	07/10/2010	X	X	X	X	-
UBA35	17/10/2007	X	X	X	X	-	UBA53	07/04/2009	-	X	X	X	X	UBA68	26/10/2010	X	X	X	X	-
UBA36	08/11/2007	X	X	X	X	X	UBA54	21/05/2009	X	X	X	X	X	UBA69	09/11/2010	X	X	X	X	-
UBA37	18/12/2007	X	X	X	X	X	UBA55	18/06/2009	-	X	X	X	X	UBA70	09/12/2010	X	X	X	X	-

Legenda: **F:** FieldSpec HH **CL:** Clorofila-a (método fluorimétrico)
S: Satlantic **MP:** Material Particulado
CD: CDOM (Mat. Orgâ. Diss. Colorida)

2.2 Dados Meteo-Oceanográficos

Os dados meteo-oceanográficos foram obtidos a bordo com o uso de anemômetro, GPS, fotos do mar e do céu, disco de Secchi e a observação visual dos fenômenos climáticos ao longo da coleta de acordo com protocolo sugerido por Muller (2003). Para os campos de vento foram utilizadas os dados obtidos pelo satélite QuickScat. Valores de temperatura da superfície do mar (TSM) foram obtidos diretamente do site da rede ANTARES que utiliza imagens do sensor MODIS/Aqua. Os índices pluviométricos foram obtidos no site do Instituto de Meteorologia (INMET).

Estes dados foram utilizados para o melhor entendimento dos processos meteo-oceanográficos que ocorriam simultaneamente em relação ao aporte dos constituintes opticamente ativos para o oceano.

2.3 Análises Laboratoriais

Amostras de água determinaram as propriedades de absorção do CDOM e do MP de acordo com Mitchell *et al.* (2000) e Mueller *et al.* (2003). O material particulado foi dividido em detrito e fitoplâncton. Para realizar a separação do MP foi utilizado hipoclorito de sódio ao invés do metanol sugerido em Mitchell *et al.* 2000. A concentração de clorofila-*a in situ* foi analisada pelo método fluorimétrico descrito por Welshmeyer (1994).

2.4 Medidas Radiométricas

Medidas radiométricas sobre a água foram obtidas com o radiômetro hiperespectral FieldSpec HandHeld fabricado pela ASD Inc. seguindo a metodologia descrita por Kampel (2009), adaptada de Mobley (1999) e Fougne *et al.*, (1999). Dados auxiliares para aquisição de medidas radiométricas sobre a superfície da água também são anotados.

A reflectância de sensoriamento remoto (R_{rs}) foi calculada pela seguinte equação:

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

Onde:

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

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

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

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

Mueller *et al.* (2003) diz que se assumirmos o oceano como um meio que absorve totalmente a reflectância em 750nm devemos aplicar ao cálculo da reflectância de sensoriamento remoto uma compensação ficando assim com a seguinte equação adaptada:

$$R_{rs \text{ corrigido}} = R_{rs \text{ calculado}} - R_{rs (750nm)} \quad (\text{Eq. 3})$$

A R_{rs} do radiômetro perfilador *free fall* Satlantic foi calculada automaticamente através do software ProSoft 7.7.13 assim como as outras variáveis medidas pelo equipamento.

2.5 Algoritmos Empíricos

Os dados de R_{rs} do Field Spec HH foram integrados de modo a simularem as bandas espectrais dos sensores orbitais da cor do oceano *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS), *Moderate Resolution Imaging Spectrometer* (MODIS) e *MEdium Resolution Imaging Spectrometer* (MERIS). Foram utilizados os algoritmos empíricos de cor do oceano em duas versões:

- Versão 4:
 - *Ocean Chlorophyll 4-band* - OC4v4 e *Ocean Chlorophyll 2-band* - OC2v4, referentes ao sensor SeaWiFS.
 - *Ocean Chlorophyll 3-bands* - OC3M, referente ao sensor MODIS.

- Versão 6:
 - OC2S, OC3S e OC4S, referentes ao sensor SeaWiFS.
 - OC2E, OC3E e OC4E, referentes ao sensor MERIS.
 - OC2M-551 e OC3M-551, referentes ao sensor MODIS.

Na versão 4 o algoritmo OC2v4 estima a CSM a partir da razão de bandas $R_{rs}(490)/R_{rs}(555)$ 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 $R_{rs}(443)/R_{rs}(555)$, $R_{rs}(490)/R_{rs}(555)$ e $R_{rs}(510)/R_{rs}(555)$. A versão descrita por 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 R_{\max} entre $R_{rs}(443)/R_{rs}(550)$ e $R_{rs}(490)/R_{rs}(550)$, 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 $R_{3M} = \log_{10}(R_{\max})$.

A versão 6 diz que todos os algoritmos empíricos são iguais, ou seja:

$$OC4 = OC3 = OC2$$

Sendo:

R_{rs1} = Rrs banda do azul (e.g., 443, 490, or 510nm).

R_{rs2} = Rrs banda do verde (e.g., 547, 555, or 565nm).

$X = \log_{10}(R_{rs1} / R_{rs2})$

Os algoritmos da versão 6 são definidos pela seguinte equação:

$$C_a = 10^{(a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot X^2 + a_3 \cdot X^3 + a_4 \cdot X^4)} \quad (\text{Eq. 6})$$

A Tabela 2.2 indica os coeficientes a0, a1, a2, a3 e a4 citados na equação 6:

Tabela 2.2: Coeficientes dos algoritmos da versão 6 dos sensores orbitais MODIS, MERIS e SeaWiFS e os comprimentos de onda no azul e no verde que devem ser usados em cada caso.

	Sensor	Azul	Verde	a0	a1	a2	a3	a4
OC4	SeaWiFS	443>489>510	555	0.3272	-2.9940	2.7218	-1.2259	-0.5683
OC4E	MERIS	443>489>510	560	0.3255	-2.7677	2.4409	-1.1288	-0.4990
OC3S	SeaWiFS	443>489	555	0.2515	-2.3798	1.5823	-0.6372	-0.5692
OC3M-551	MODIS	443>489	550	0.2424	-2.5828	1.7057	-0.3415	-0.8818
OC3E	MERIS	443>489	560	0.2521	-2.2146	1.5193	-0.7702	-0.4291
OC2S	SeaWiFS	489	555	0.2511	-2.0853	1.5035	-3.1747	0.3383
OC2E	MERIS	489	560	0.2389	-1.9369	1.7627	-3.0777	-0.1054
OC2M-551	MODIS	489	550	0.2481	-2.2958	1.4053	-3.1299	0.6478

2.6 Comparação Estatística

As concentrações *in situ* de Clo-*a* (mg m⁻³) foram comparadas estatisticamente com as estimativas obtidas pelos algoritmos empíricos através de análises de correlação de Spearman, erro quadrático médio linearmente transformado – rmse-L (Carder *et al.*, 2004) e o percentual da diferença média relativa (RDP) listados abaixo.

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

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

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

As análises de agrupamento (cluster) seguiram o padrão não paramétrico, de comparação simples por correlação. As análises estatísticas adicionais seguiram o protocolo recomendado por Botter (1996).

Foram utilizados os softwares Statistica 8.0, PAST version 2.01 e Grapher 8.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Coleta de Dados *in situ*

Entre julho de 2006 e dezembro de 2010 foram feitas 51 coletas mensais. Destas coletas, algumas não estão representadas devido ao mal tempo no dia do embarque e conseqüente cancelamento da saída de campo. Em alguns casos, o mal tempo impossibilitou a medida radiométrica (UBA33) e em outros o equipamento não estava disponível ou apresentou problemas durante o uso (UBA65). Em outros casos não existem informações sobre a falta desses dados.

3.2 Dados Meteo-Oceanográficos

A precipitação pode estar relacionada com o aporte de material continental proveniente da Serra do Mar para o oceano. Os dados de precipitação pluviométrica mensal obtidos pelo INMET (Figura 3.1) não tiveram continuidade após fevereiro de 2009 (UBA51). Mesmo assim foram utilizados como referência totalizando 32 meses (N=32) para serem comparados aos espectros de reflectância.

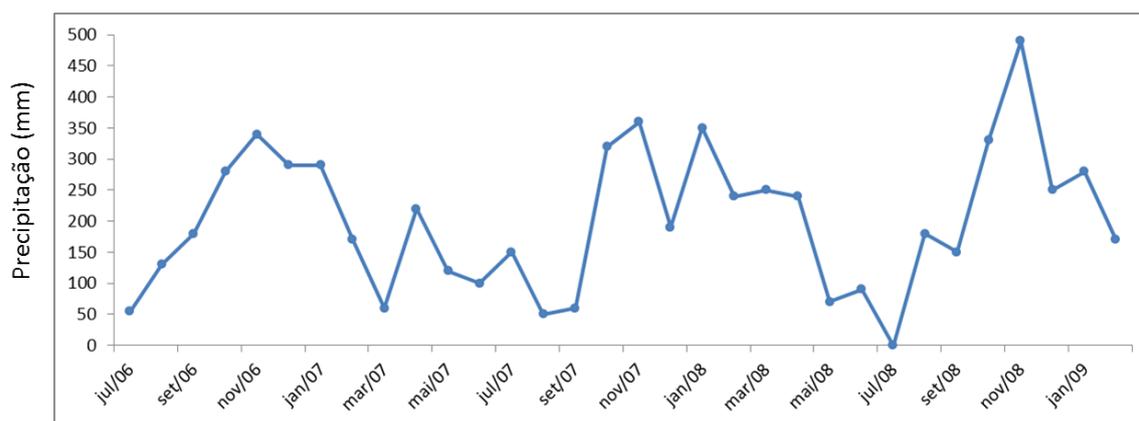


Figura 3.1: Índice de precipitação pluviométrica mensal na região de Ubatuba.

Observam-se maiores índices mensais de precipitação ao longo da primavera e verão e menores índices no outono e inverno.

O disco de Secchi variou entre 9 e 21 metros, ou seja, a camada eufótica $\geq 1\%$ esteve desde 8 metros de profundidade até o fundo.

3.3 Análises Laboratoriais

A Figura 3.2 apresenta os resultados obtidos das absorbâncias de CDOM e MP dividido em detrito (DETRITO) e fitoplâncton (FITO) no comprimento de onda de 443nm.

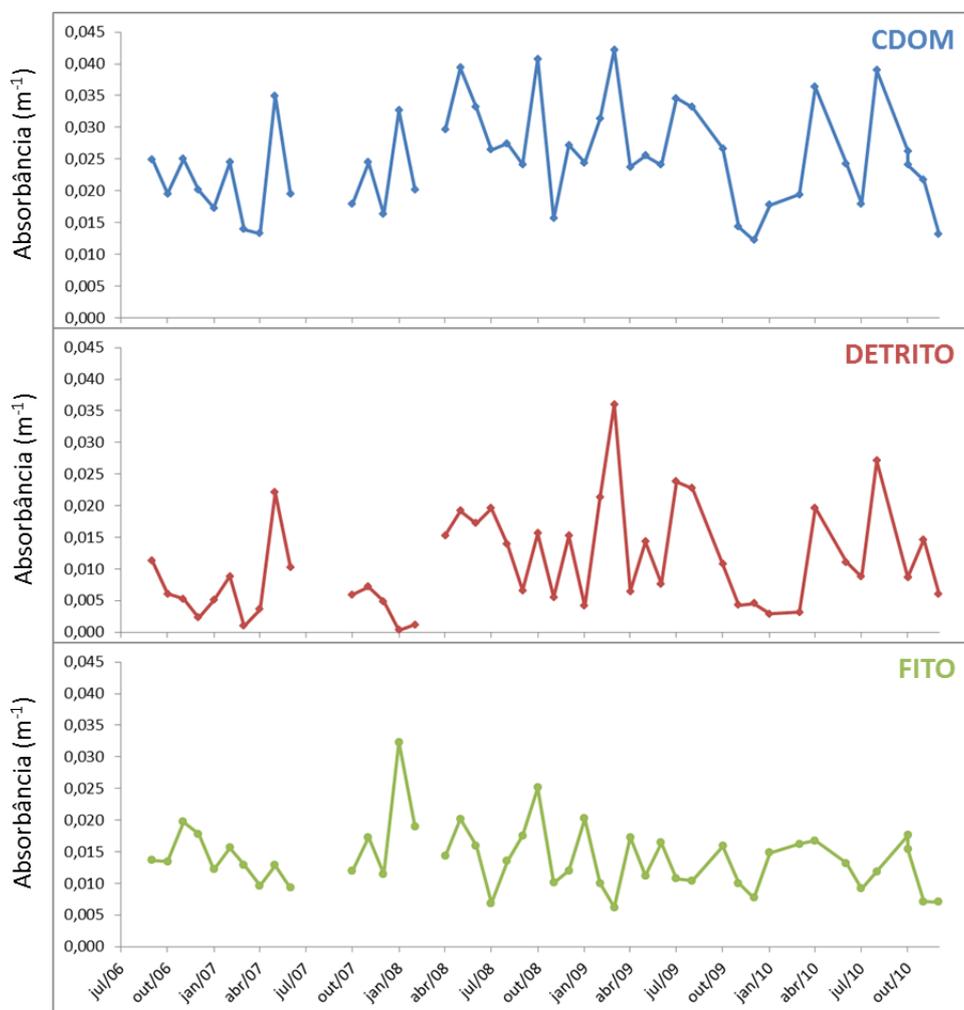


Figura 3.2: Valores de absorbância de CDOM, DETRITO e FITO no comprimento de onda de 443nm em casa estação. Espaços em branco são estações onde houve falhas nas análises.

Foram analisadas 44 amostras de CDOM e 45 amostras de MP. Entretanto, para as análises estatísticas realizadas com ambos os dados, foram utilizados somente aquelas estações em que todos estão presentes. Isto nos deu um número amostral igual a 39. A clorofila-*a* analisada fluorimetricamente está ilustrada na Figura 3.3.

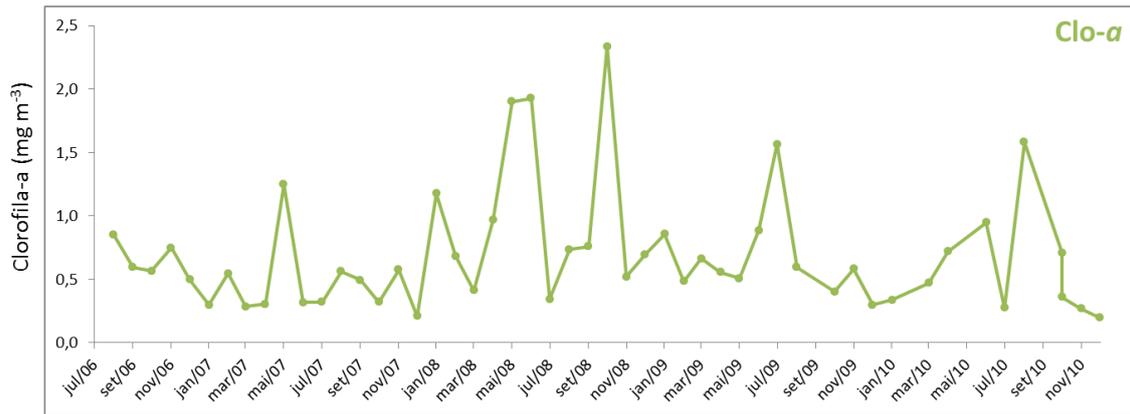


Figura 3.3: Concentração de clorofila-a em mg m^{-3} analisada fluorimetricamente para cada estação de coleta.

Os valores de Clo-a variaram entre 0,19 e 2,33 mg m^{-3} . Estes valores estão dentro do esperado para a plataforma interna sudeste já citado em Aidar *et al.* (1993), Gaeta *et al.* (1999) e Kampel (2003).

Com os dados dos componentes opticamente ativos foi feita a contribuição percentual relativa destes em cada estação (Figura 3.4) e um gráfico ternário com a dispersão das estações em função de seus constituintes principais (Figura 3.5).

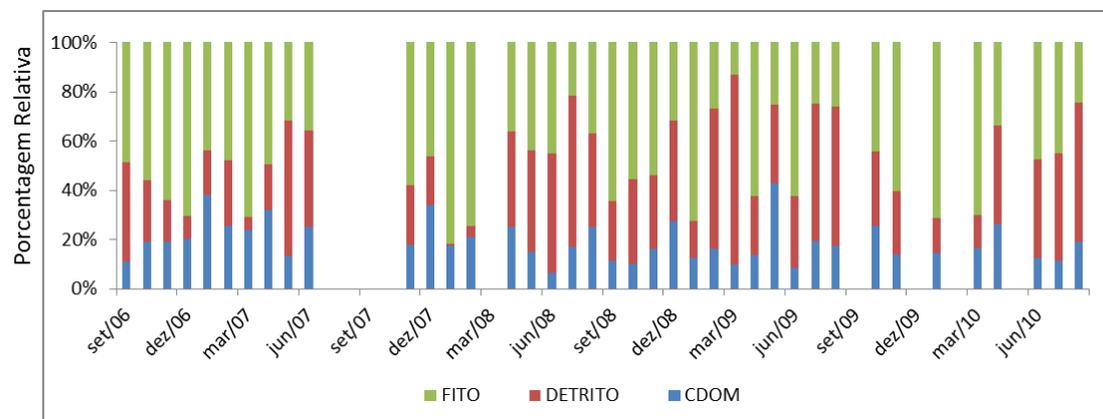


Figura 3.4: Porcentagem relativa de CDOM, DETRITO e FITO em cada estação no comprimento de onda de 443nm. Espaços em branco significam que não há dados de algum destes constituintes.

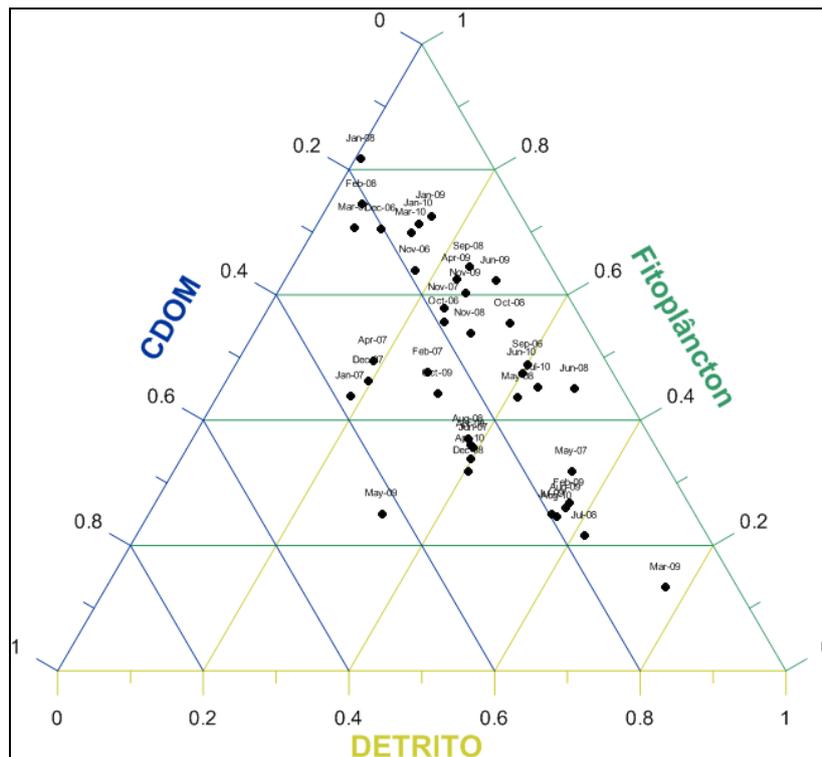


Figura 3.5: Gráfico ternário da absorção dos componentes opticamente ativos CDOM, DETRITO E FITO (m^{-1}) no comprimento de onda de 443nm.

O gráfico ternário mostra que as águas da região estão bem distribuídas entre FITO e DETRITO e pouco influenciadas por CDOM. Onde o CDOM é $>20\%$ podemos relacionar aos picos de pluviosidade vistos anteriormente para o período em que temos os dados de precipitação. Onde a clorofila-a é predominante estão os meses de primavera e verão, com exceção de junho de 2009 que aparece com FITO $>60\%$ e é um caso de inverno. Onde o DETRITO se destaca $>60\%$ vemos uma união dos meses de outono e inverno, com baixa precipitação.

3.4 Medidas Radiométricas

Inicialmente foi avaliada a qualidade dos dados radiométricos gerados. Alguns dados mostraram-se espúrios por apresentarem valores até 10 vezes maiores que os comumente encontrados. Foi feita uma análise por box-plot (Figura 3.6a) de todos os comprimentos de onda que correspondem aos centros de banda dos sensores orbitais. Nesse box-plot foram retirados os 4 maiores *outliers* que se correlacionam aos espectros espúrios (Figura 3.6b)

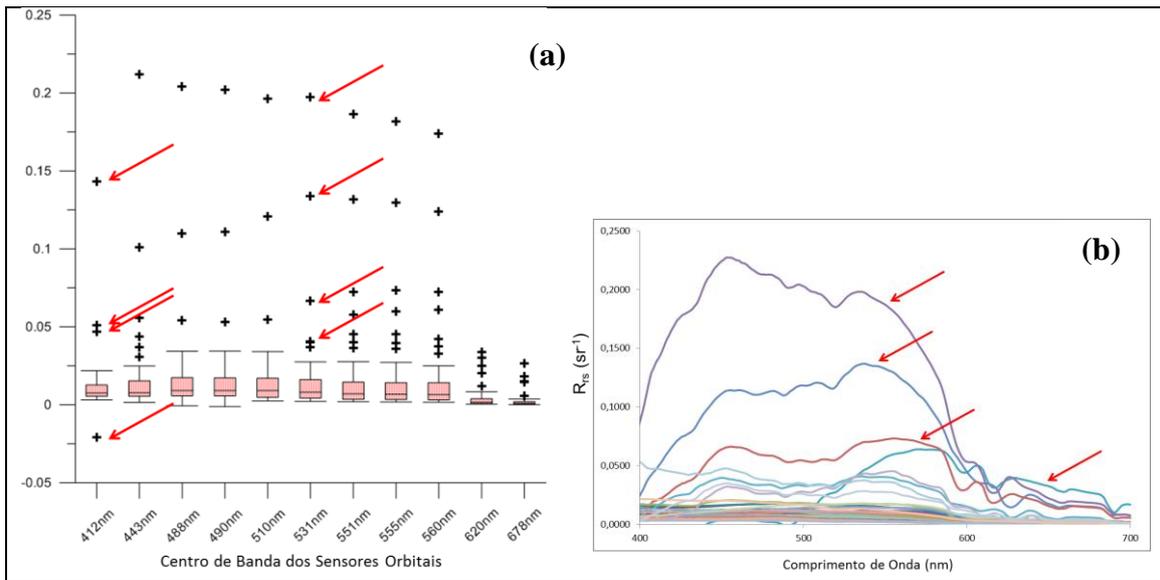


Figura 3.6: Análise dos espectros de R_{rs} . As setas vermelhas no Box-Plot indicam quais são os espectros dados como *outliers* nos centros de banda de 412 e 531nm e se repetem para os outros centros de banda. Estes *outliers* correspondem as setas vermelhas da figura (b) que são os dados espúrios.

Com a retirada dessas estações foram analisados 39 meses de reflectância pelo radiômetro Field Spec HH. Com essas estações foram realizadas análises de agrupamento por correlação utilizando os comprimentos de onda do visível (400-700nm) apresentado na Figura 3.7.

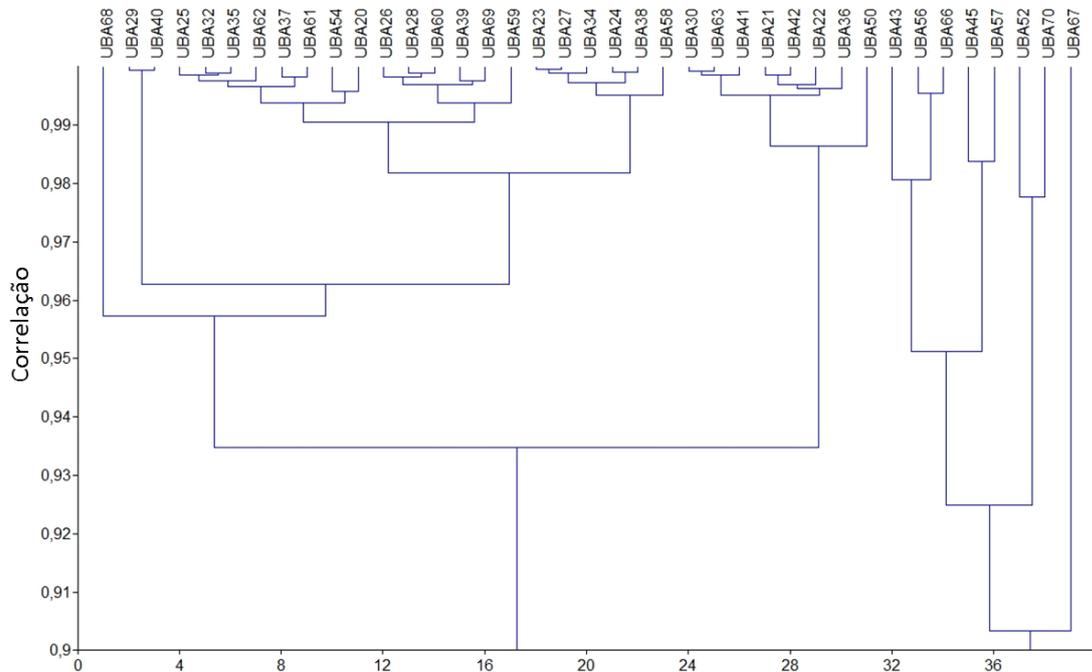


Figura 3.7: Cluster das estações agrupando os espectros de R_{rs} com assinaturas semelhantes por correlação.

As estações que foram agrupadas estão identificadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Grupos de espectros que definirão os tipos de assinatura espectral utilizados para cada massa d'água.

	Grupos de Espectros				
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5
Estações	25	26	23	30	43
	32	28	27	63	56
	35	60	34	41	66
	62	39	24	21	45
	37	69	38	42	57
	61	59	58	22	52
	54			36	70
	20			50	67

A média de cada grupo de estações gerou cinco tipos de curvas espectrais apresentadas na Figura 3.8.

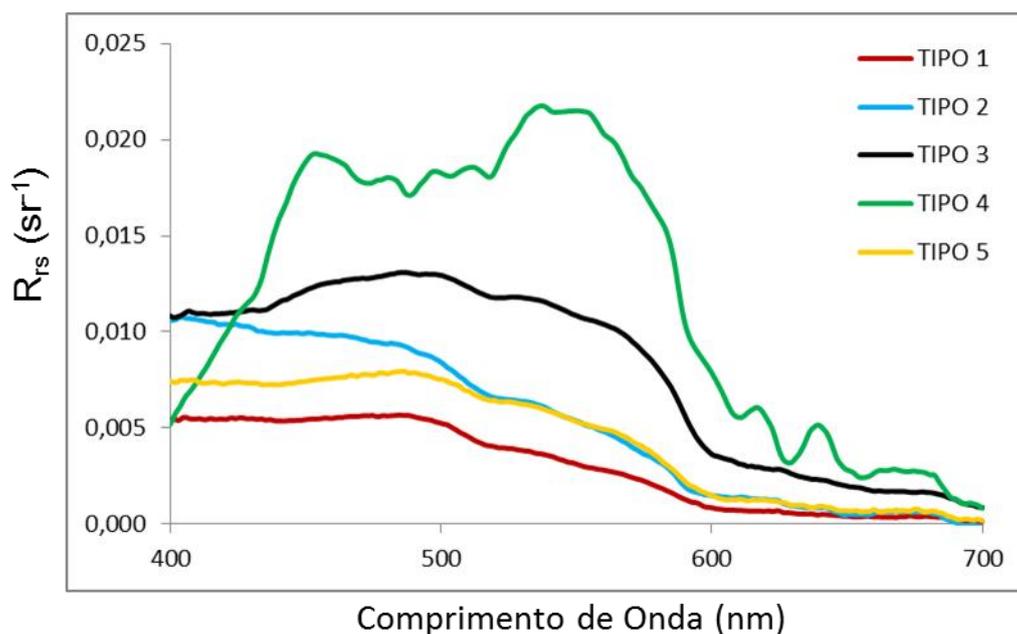


Figura 3.8: Espectros de reflectância de sensoriamento remoto gerados a partir da média de cada grupo selecionado pelo cluster.

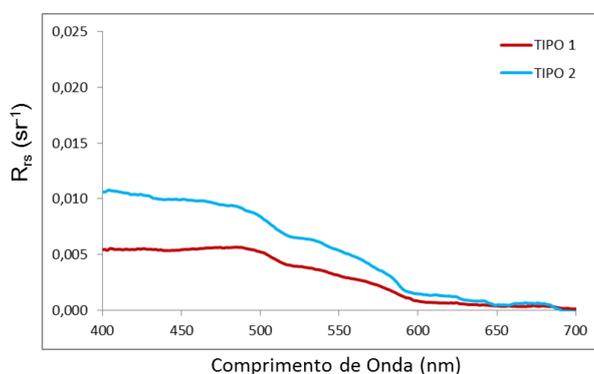
A Tabela 3.2 apresenta os valores médios de cada variável utilizada para caracterizar os tipos de espectros.

Tabela 3.2: Média das variáveis de cada grupo que formam os cinco tipos de espectros. CDOM, DETRITO e FITO estão em (m^{-1}), Secchi (m), Clo- a ($mg\ m^{-3}$) e TSM ($^{\circ}C$).

Espectro	CDOM	DETRITO	FITO	Secchi	Clo- a	TSM
TIPO 1	0,0082	0,0058	0,0137	15,7	0,382	22,6
TIPO 2	0,0045	0,0051	0,0115	16,3	0,403	26,3
TIPO 3	0,0062	0,0141	0,0165	8,2	0,956	24,1
TIPO 4	0,0068	0,0194	0,0117	8,9	0,997	22,9
TIPO 5	0,0067	0,0065	0,0187	10,9	0,656	23,4

Observando os tipos de Rrs e suas variáveis, podemos levantar algumas suposições:

- TIPOS 1 e 2:



Em ambas a zona eufótica alcança o fundo. A menor reflectância do TIPO 1 pode estar relacionada a maior absorbância de CDOM ($0,0082\ m^{-1}$), diminuindo a reflectância na faixa próximo aos comprimentos de onda mais longos. Sua TSM é a menor entre as cinco e a análise da temperatura em toda a coluna d'água indicou pouca ou nenhuma presença de uma estratificação térmica definida. Assim sugere que as concentrações de componentes opticamente ativos (COA) devem estar homogêneas na coluna d'água indicando um período pobre em COA e/ou em constituintes, gerando a curva TIPO 1.

O TIPO 2 se assemelha ao TIPO 1 quanto a profundidade da camada eufótica e apresenta os menores valores de absorbância de CDOM, DETRITO e FITO corroborando com tipo massa d'água pobre, limpa ou clara. Porém observa-se a maior média de TSM ($26,3\ ^{\circ}C$) entre todas as médias dos grupos de estações. Os dados de vento do QuickScat (Figura 3.9) sugeriram um vento predominante de nordeste e leste e todas as estações agrupadas no TIPO 2 estão nos períodos de novembro a março o que de acordo com Castro *et al.* (1987) pode estar sendo influenciado por ventos de nordeste característicos desses períodos do ano. Isto pode sugerir que a água se encontra clara porque

seus COAs estão concentrados abaixo de uma estratificação da temperatura que mantém a água limpa nos primeiros metros.

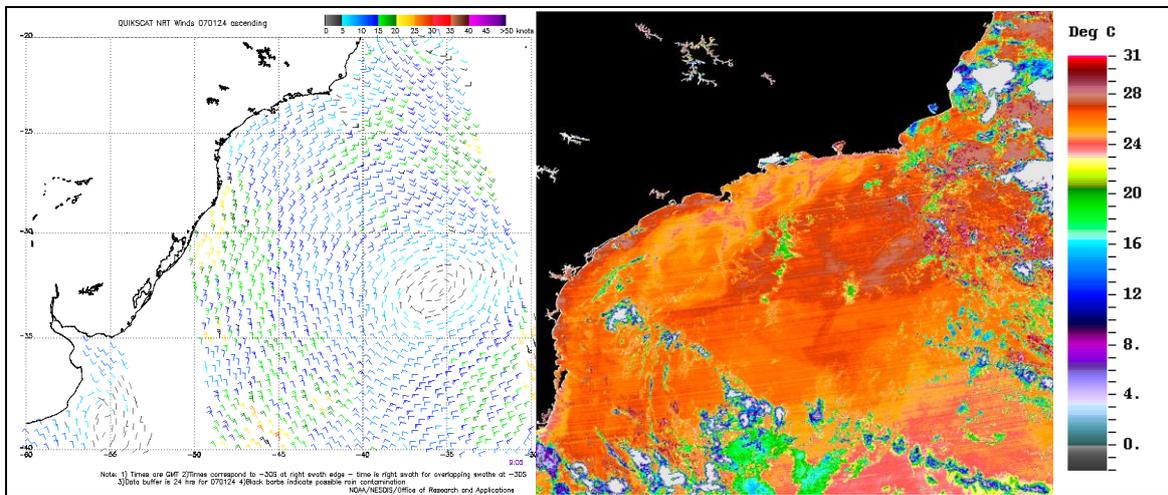
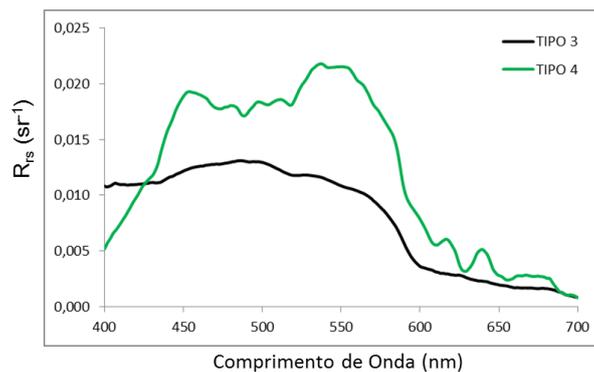


Figura 3.9: Imagem de vento do sensor QuickScat - esquerda - e TSM do sensor MODIS - direita - referentes a estação UBA28 de janeiro de 2007 que faz parte do espectro TIPO 2. Observa-se um vento predominante de nordeste e a temperatura da superfície do mar próxima aos 25 °C.

Estes espectros são típicos de água clara (IOCCG, 2000). No primeiro caso podemos ter uma água pobre em toda coluna d'água, enquanto no segundo caso, essa água é clara até certa profundidade e possui maiores concentrações no fundo.

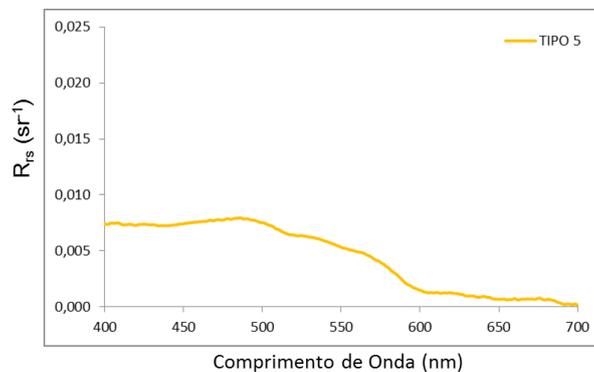
- TIPOS 3 e 4:



Os TIPOS 3 e 4 diferem dos dois primeiros pois a camada eufótica destes não chegam a profundidade de 40 metros que é a média da batimetria das estações. A água do espectro TIPO 3 possui o menor alcance da camada eufótica com a menor média de alcance do disco de Secchi (8,2m). A água do TIPO 4 tem os maiores valores médios de Clo-a (0,997 mg m⁻³) e DETRITO

(0,0194 m⁻¹). Em seguida, aparece a curva TIPO 3 com 0,956 mg m⁻³ de Clo-a e 0,0141 m⁻¹ de absorvância do DETRITO. Isto indica que os possíveis picos próximos ao comprimento de onda dos 550nm e 650nm no TIPO 4 podem ser um *bloom* ou espécie oportuna no local que destacou-se na região ou o próprio *bloom* de primavera já que as estações predominantes estão entre agosto e outubro. O máximo de clorofila-a não ocorre concomitantemente ao máximo de FITO e a coluna d'água na maioria das coletas realizadas nesses meses estava homogênea. Isso pode indicar que toda coluna d'água foi enriquecida pela não estratificação térmica local que favoreceu a disponibilidade de nutrientes e COA por toda a massa de água, contribuindo também para a produção primária e os altos níveis de Clo-a e DETRITO em suspensão.

- TIPO 5:



O TIPO 5 apresenta valores médios de absorvância do FITO igual a 0,0187m⁻¹, os maiores entre as médias dos grupos. No restante é uma água com características intermediárias e suas estações precedem as estações das águas claras TIPO 2. Elas ocorrem principalmente entre setembro e novembro e podem ser uma transição dos TIPOS 4 e 5 para os TIPOS 1 e 2. Dessa forma esse fito presente nesta água pode ser um final de produção primária dos meses antecessores.

As curvas obtidas foram também descritas semelhantemente por Rudorff *et al.*, (2007) e Kappel *et al.*, (2007) para a mesma região de Ubatuba, sendo realizadas para o primeiro ponto de coleta que abrange dezembro de 2004 a junho de 2006. A maneira como foram descritos os espectros estão conforme o citado em IOCCG (2000).

3.5 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 Clo-a calculados por cada algoritmo e por análise fluorimétrica estão descritos no Anexo 1.
- Outras estações adicionadas ou retiradas foram definidas de acordo com o *box-plot* do desvio padrão a partir da amostra *in situ* (Figura 3.10).

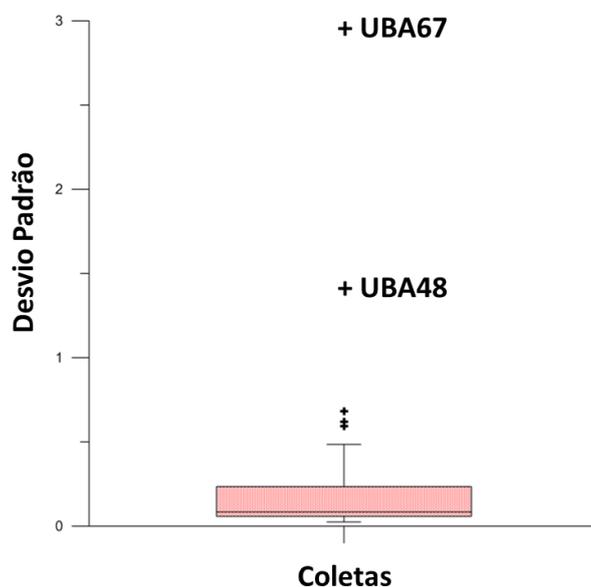


Figura 3.10: Box-plot com as estações que mostraram um desvio padrão em comparação ao valor *in situ* superiores a 100%.

Os valores encontrados de Chl-a *in situ* pelo método fluorimétrico variaram entre 0,2 a 2 mg m⁻³ o que também foi identificado por Aidar *et al.*, (1993) e Gaeta *et al.* (1999).

Com a retirada dos dados espúrios da análise obteve-se um N amostral igual a 40. Destes dados foi realizada uma correlação não paramétrica, rmse-L e RDP indicada na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Estatísticas realizadas com os algoritmos empíricos para avaliar o desempenho destes comparados aos valores fluorimétricos *in situ*.

Algoritmo	Corr. Spearman	rmse-L	RDP
OC2v4	0,589	2,134	98,518
OC4v4	0,645	1,935	83,888
OC3M	0,637	1,777	73,628
OC2S	0,589	2,152	92,806
OC2E	0,593	2,069	86,386
OC2M-551	0,580	2,042	94,403
OC4S	0,645	1,836	76,005
OC4E	0,656	1,758	68,762
OC3S	0,644	1,757	67,946
OC3M-551	0,556	1,709	72,877
OC3E	0,660	1,708	63,540

A análise dos algoritmos pelo método não paramétrico indicou que a correlação entre os valores calculados pela simulação da reflectância nas bandas dos sensores e os valores obtidos em campo melhoraram significativamente (> 100%) em relação ao observado em 2010 nesse mesmo local de coleta com um N amostral de 23. Quando se utilizou a correlação não paramétrica não foi observada diferença nos valores encontrados com a clorofila em mg m^{-3} ou trabalhada em forma logarítmica na base 10.

As versões mais atuais dos algoritmos mostraram melhores correlações para o OC3E e para o OC4E igual a 0,66 ambos para o sensor MERIS. Porém o desempenho do OC3E foi um pouco melhor por apresentar um rmse-L igual a 1,7 e RDP igual de 63,5%, valores estes menores que os encontrados para o OC4E.

4 CONCLUSÃO

Embora as águas de TIPOS 1 e 2 mostrem um padrão mais definido pela análise de suas variáveis ópticas juntas aos dados meteo-oceanográficos; os outros espectros não apresentam uma similaridade nesses aspectos, podendo ser mais influenciados por outras vertentes que não meteorológicas.

Os algoritmos apresentaram melhor desempenho, mas continuam em sua quase totalidade superestimando os valores obtidos *in situ*. Isso se deve à influência do CDOM e outros pigmentos próximos ao comprimento de onda da clo-a e que são somados às bandas dos sensores.

A complexidade da região devida sua proximidade da costa e da Serra do Mar faz com que a dinâmica dos processos locais seja rapidamente transformada por condições climáticas como o vento. Por isso entender a região e poder utilizar dos satélites como meio de obter medidas sinóticas do litoral é necessário para monitorar essas mudanças rápidas que acontecem.

Ao aumentar o período estudado para 50 meses conseguimos melhoras no desempenho dos sensores orbitais e definir com mais clareza e com base estatística a relação entre os espectros de reflectância na região costeira de Ubatuba e suas influências.

Um estudo detalhado de toda a coluna d'água irá auxiliar nas deduções levantadas nessa análise da reflectância marinha. Pretende-se acrescentar as análises de reflectância de sensoriamento remoto obtidas pelo radiômetro Satlantic para completar dados ausentes aumentando número amostral e a robustez das hipóteses levantadas.

Nossa perspectiva será acrescentar a série de dados perfis da coluna d'água e imagens dos satélites simulados para poder entender melhor a dinâmica local com base não somente no que acontece sobre a superfície.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo auxílio nas pesquisas através da bolsa de Iniciação Científica PIBIC/INPE processo 109476/2010-7. Ao Dr. Milton Kampel pela orientação e atenção que me foi dada. Ao INPE pelo suporte para realizar as coletas em campo. Ao Laboratório de Produção Primária do Instituto Oceanográfico onde pude 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.
- Gaeta, S. A. ; Ribeiro, S. M. S. ; Metzler, P. M. ; Francos, M. S. ; Abe, D. S. Environmental forcing on phytoplankton biomass and primary productivity of the coastal ecosystem in Ubatuba region, southern Brazil. **Revista Brasileira de Oceanografia**, Brasil, v. 47, n. 1, p. 11-27, 1999.
- 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. Estimativa da produção primária e biomassa fitoplanctônica através de sensoriamento remoto da cor do oceano e dados in situ na costa sudeste brasileira. **Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico**, São Paulo, Brasil, 2003.
- 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.
- Kampel, M.; Lorenzetti, J.A.; Bentz, C.M.; Nunes, R.A.; Paranhos, R.; Rudorff, F.M.; Politano, A.T. Simultaneous measurements of chlorophyll concentration by Lidar, fluorometry, above-water radiometry, and ocean color MODIS images in the Southwestern Atlantic. **Sensors**. v. 9, p. 528-541, 2009.
- 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. Chapter12, 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.

- Sathyendranath, S.; Platt, T. H.; Bouman, E.; Devred, C.; Fuentes-Yaco. Physical Forcing and Phytoplankton Distributions, **Scientia Marina. Vol 69** (Suppl. 1): 55-73, 2005.
- Stramma, L., England, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **J. Geophys. Res.**, **104(C9)**, 20.863–20.883, 1999.
- Sverdrup, H. U.; Johnson M. W.; Fleming R. H. The Oceans, their physics, chemistry, and general biology. **Prentice-Hall Inc., New Jersey**, 1087 pp, 1942.
- Tomczak, M. & J. S. Godfrey, 1994: Regional oceanography: an introduction. **Pergamon, Great Britain**, 422 pp.
- Welscheyer, N. A.; Fluorometric Analysis of Chlorophyll-a in the Presence of Chlorophyll-b and Pheopigments. **Limnology and Oceanography**, 39: 1985-1992. 1994.

ANEXO 1

	OC2v4	OC4v4	OC3M	OC2S	OC2E	OC2M-551	OC4S	OC4E	OC3S	OC3M-551	OC3E	IN SITU
UBA20	0,315	0,329	0,327	0,358	0,357	0,320	0,344	0,337	0,364	0,338	0,357	0,408
UBA21	1,169	1,197	1,093	1,132	1,093	1,104	1,129	1,104	1,066	1,036	1,049	0,851
UBA22	0,939	0,933	0,875	0,946	0,919	0,910	0,897	0,876	0,877	0,844	0,862	0,595
UBA23	0,665	0,648	0,624	0,711	0,694	0,665	0,641	0,623	0,654	0,619	0,638	0,565
UBA24	0,890	0,880	0,828	0,905	0,881	0,866	0,849	0,830	0,837	0,802	0,822	0,750
UBA25	0,536	0,504	0,507	0,590	0,591	0,543	0,510	0,516	0,531	0,514	0,538	0,497
UBA26	0,504	0,450	0,453	0,558	0,560	0,503	0,460	0,467	0,482	0,481	0,489	0,300
UBA27	0,688	0,671	0,640	0,732	0,730	0,681	0,662	0,660	0,673	0,633	0,672	0,547
UBA28	0,444	0,375	0,378	0,498	0,507	0,446	0,388	0,398	0,410	0,435	0,421	0,286
UBA29	0,349	0,264	0,265	0,397	0,410	0,351	0,278	0,288	0,295	0,361	0,305	0,304
UBA30	1,192	1,225	1,122	1,151	1,105	1,129	1,154	1,121	1,086	1,061	1,062	1,248
UBA32	0,591	0,571	0,565	0,642	0,634	0,602	0,572	0,563	0,590	0,564	0,583	0,320
UBA34	0,690	0,673	0,638	0,733	0,724	0,680	0,664	0,654	0,674	0,632	0,666	0,495
UBA35	0,558	0,545	0,523	0,612	0,615	0,557	0,548	0,546	0,567	0,526	0,566	0,322
UBA36	1,663	1,828	1,633	1,515	1,420	1,548	1,685	1,592	1,482	1,503	1,420	0,577
UBA37	0,459	0,447	0,443	0,513	0,516	0,465	0,457	0,459	0,479	0,450	0,481	0,210
UBA38	0,857	0,845	0,810	0,878	0,856	0,849	0,818	0,801	0,810	0,786	0,797	1,177
UBA39	0,604	0,473	0,475	0,654	0,649	0,606	0,481	0,487	0,503	0,568	0,509	0,685
UBA40	0,324	0,263	0,265	0,368	0,380	0,318	0,277	0,288	0,294	0,336	0,305	0,412
UBA41	1,175	1,205	1,081	1,137	1,105	1,094	1,136	1,120	1,072	1,026	1,062	0,967
UBA42	1,244	1,288	1,152	1,192	1,150	1,155	1,210	1,184	1,129	1,087	1,112	1,903
UBA43	3,382	3,743	3,726	2,851	2,704	3,121	3,416	3,121	3,025	1,911	2,929	1,929
UBA45	1,388	1,467	1,393	1,303	1,239	1,355	1,366	1,313	1,249	1,296	1,212	0,736
UBA46	2,683	2,964	3,068	2,298	2,111	2,633	2,702	2,339	2,380	1,705	2,233	0,758
UBA50	1,657	1,760	1,490	1,510	1,472	1,522	1,625	1,571	1,439	1,475	1,405	0,856
UBA51	1,468	1,488	1,354	1,366	1,292	1,416	1,385	1,293	1,263	1,361	1,197	0,484
UBA52	3,111	2,908	2,456	2,634	2,406	3,141	2,651	2,286	2,125	1,784	1,901	0,663
UBA54	0,488	0,480	0,461	0,543	0,557	0,485	0,487	0,493	0,509	0,467	0,515	0,507
UBA56	2,280	2,256	2,306	1,986	1,907	2,065	2,065	2,042	2,018	1,605	1,991	1,564
UBA57	1,461	1,561	1,389	1,360	1,311	1,352	1,449	1,421	1,311	1,293	1,294	0,596
UBA58	0,830	0,816	0,749	0,855	0,825	0,790	0,792	0,764	0,788	0,732	0,765	0,402
UBA59	0,374	0,339	0,344	0,425	0,446	0,382	0,353	0,366	0,374	0,385	0,387	0,581
UBA60	0,467	0,398	0,402	0,522	0,528	0,469	0,411	0,419	0,433	0,453	0,442	0,299
UBA61	0,439	0,435	0,419	0,493	0,492	0,435	0,446	0,439	0,468	0,427	0,462	0,337
UBA62	0,627	0,584	0,595	0,676	0,659	0,639	0,583	0,575	0,600	0,596	0,594	0,470
UBA63	1,300	1,356	1,222	1,235	1,193	1,214	1,269	1,246	1,175	1,148	1,161	0,720
UBA66	2,217	2,267	2,164	1,938	1,852	1,957	2,075	2,067	1,963	1,604	1,927	1,581
UBA68	1,891	1,111	1,123	1,690	1,574	1,894	1,053	1,030	1,006	1,693	0,989	0,361
UBA69	0,736	0,518	0,529	0,774	0,746	0,757	0,523	0,515	0,543	0,701	0,537	0,269
UBA70	2,027	1,620	1,436	1,793	1,694	2,019	1,502	1,342	1,350	1,789	1,234	0,196

Valores em mg m-3 da concentração de clorofila-a estimada pelos algoritmos empíricos e o valor obtido pelo método fluorimétrico de coletas *in situ*. Nestes dados já estão desconsiderados os dados espúrios.