



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/INPE, Orientador)
E-mail: milton@dsr.inpe.br

INPE
São José dos Campos
2009

RESUMO

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

Para algumas medidas de cor do oceano, a reflectância de sensoriamento remoto da água é um parâmetro importante a ser mensurado, como por exemplo, no cálculo da biomassa fitoplanctônica através da clorofila. Assim, este trabalho teve como principal objetivo a análise da reflectância a partir de radiômetros *in situ* para simularem as bandas de leitura do sensor MODIS a fim de comparar os valores obtidos pelos radiômetros com as imagens do satélite. Para isso, é necessária a aquisição de dados em campo, processar as imagens de satélite e analisar integradamente estes dados através de análises estatísticas. A série temporal mensal de dados *in situ* é uma contribuição do Instituto Oceanográfico da USP (Universidade de São Paulo) e do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais à rede de observações ANTARES, sendo que este trabalho abrange coletas de outubro de 2007 a janeiro de 2009. Espera-se ampliar a série com os dados posteriores e os que continuarão a serem coletados. Até o presente momento foram coletadas mensalmente as medidas espectrais de reflectância, processadas e analisadas referentes ao período citado. Imagens de satélite da cor do oceano e do infravermelho termal do sensor MODIS instalado a bordo do satélite AQUA da NASA (National Aeronautics and Space Administration), adquiridas nesse mesmo período, serão processadas digitalmente com o uso do programa SeaDAS.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, reflectância marinha, cor do oceano.

ABSTRACT

MARINE REFLECTANCE ANALISYS IN THE COASTAL ZONE OF UBATUBA, NORTH OF SÃO PAULO SHORE

For field measurements of water color, remote-sensing reflectance of the water is an important parameter to be measured, for example, to calculate the phytoplankton biomass using chlorophylls pigments. This scientific work analyses the marine reflectance with *in situ* radiometers to simulate the MODIS bands and compare the radiometers values with the satellite images. For this is necessary to acquire remote sensing reflectance measurements and do some statistics analyses. The *in situ* time-series is a Brazilian contribution of the Oceanography Institute of the University of Sao Paulo and the National Institute of Space Research to the Antares net of observations., This work consider the samples collected from December 2007 to January 2009. Ocean color images from MODIS, will be processed with SeaDAS program. Remote sensing reflectance values (Rrs) have been measurement every month to compare with MODIS bands.

Key words: remote sensing, marine reflectance, ocean color.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1. INTRODUÇÃO	7
1.1. ASPECTOS GERAIS	7
1.2. ÁREA DE ESTUDO.....	10
2.1. OBJETIVOS.....	11
2. MATERIAL E MÉTODOS	122
2.1. MEDIDAS RADIOMÉTRICAS.....	122
2.1.1. ALGORITMOS EMPÍRICOS.....	12
2.1.2. COMPARAÇÃO DOS ALGORITMOS.....	13
2.2. SENSORIAMENTO REMOTO.....	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	144
3.1. MEDIDAS RADIOMÉTRICAS.....	144
3.1.1. COLETAS DE CAMPO	14
3.1.2. REFLECTÂNCIA DE SENSORIAMENTO REMOTO	14
3.1.3. CONCENTRAÇÃO DE CLAROFILA NA CAMADA SUPERFICIAL	18
3.1.4. IMAGENS	19
3.2. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	20
3.2.1. COMPARAÇÃO ENTRE DADOS IN SITU E DADOS RADIOMÉTRICOS	20
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	22
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: O sinal detectado remotamente é formado pelas seguintes contribuições: (a) e (b) luz espalhada pela atmosfera e refletida especularmente pela superfície do corpo de água, (c) luz emergente da superfície da água, após ter sido retroespalhada no interior do corpo de água. (Adaptado de Sathyendranath, 1986 & IOCCG, 2000).....	8
Figura 1.2: A cor do oceano é definida pela variação espectral da reflectância R na superfície do oceano e contribui na determinação dos constituintes da água (IOCCG, 2000).....	9
Figura 1.3: Localização da estação da série temporal Antares em Ubatuba, SP (23,61°S-44,59°W).....	10
Figura 3.1: Espectros de reflectância de sensoriamento remoto obtidos acima da água com o radiômetro FieldSpec. Observe a escala das curvas no caso do UBA44, 46 e 48.....	16
Figura 3.2: Espectros de reflectância de sensoriamento remoto obtidos acima da água com o radiômetro FieldSpec, sem os dados de coleta do UBA44, 46 e 48.....	16
Figura 3.3: Espectro de reflectância de sensoriamento remoto da radiômetro Satlantic.....	17
Figura 3.4: Imagem do sensor MODIS referente ao UBA44. Lat. -23.67; Long. -044.95; Horário 16h20m (GMT); Chlor-a: 0,6179 (ug/m ³). Ref.: A2008196162000.I3.....	19
Figura 3.5: Imagem do sensor MODIS referente ao UBA46. Lat. -23.75; Long. -045.12; Horário 17h05m (GMT); Chlor-a: 0,723 (ug/m ³). Ref.: A2008245170500.I3.....	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Etapas realizadas entre out/07 a jan/09.....	14
Tabela 3.2: Reflectância de sensoriamento remoto de superfície simulando as bandas de satélite - FIELDSPEC (sr^{-1}).....	15
Tabela 3.3: Reflectância de sensoriamento remoto de superfície simulando as bandas de satélite - SATLANTIC (sr^{-1}).....	15
Tabela 3.4: Comparação dos valores obtidos de Chl-a ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para os diferentes algoritmos.....	18
Tabela 3.5: Análise estatística dos algoritmos empíricos em relação aos dados laboratoriais, com e sem a presença dos dados duvidosos.....	20

1. Introdução

1.1. Aspectos gerais

A utilização de algoritmos desenvolvidos para dados orbitais de cor do oceano permite a comparação dos produtos derivados (concentração de clorofila, radiâncias e produção primária) através de medidas *in situ* de sensoriamento remoto (Lorenzetti, 1994).

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

É importante e necessária a aquisição de dados de campo para um correto uso e análise de dados de sensoriamento remoto.

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

A Figura 1.1 ilustra o sinal detectado remotamente. Somente a luz emergente da água contém informações úteis sobre o corpo d'água (Kampel e Novo, 2005).

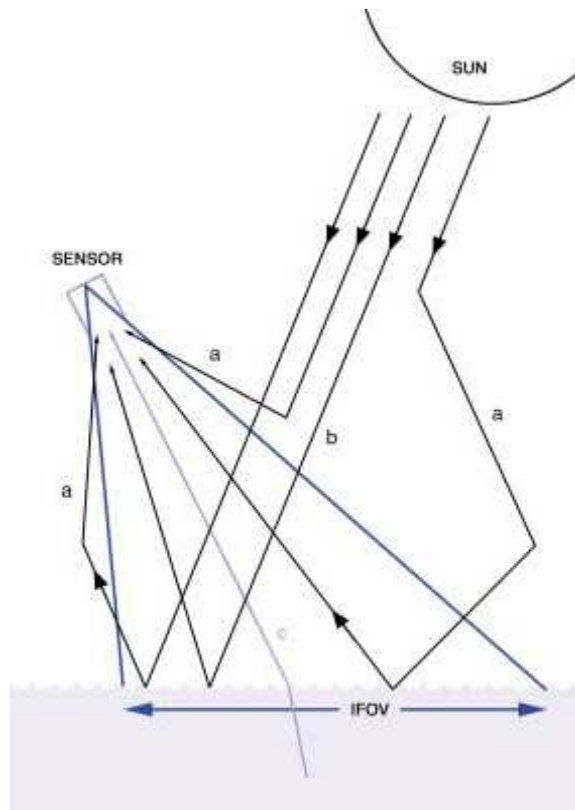


Figura 1.1: O sinal detectado remotamente é formado pelas seguintes contribuições: (a) e (b) luz espalhada pela atmosfera e refletida especularmente pela superfície do corpo de água, (c) luz emergente da superfície da água, após ter sido retroespalhada no interior do corpo de água. (Adaptado de IOCCG, 2000)

A assinatura espectral é o espectro de reflectância de um objeto, portanto depende das características físicas, químicas e biológicas do material, ou nesse caso do corpo d'água. Cada caso de água oceânica (Caso 1 e 2) podem ser caracterizadas pela sua assinatura espectral da 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.

As águas do Caso 2 são influenciadas não somente pelo fitoplâncton, mas também por outras substâncias opticamente ativas, que variam independentemente, as partículas inorgânicas em suspensão e notadamente as substâncias amarelas (Morel & Prieur, 1977; Gordon & Morel, 1983; Sathyendranath & Morel, 1983). Propriedades ópticas aparentes são influenciadas pela distribuição angular da luz e também pela natureza e concentração das substâncias presentes no meio (IOCCG, 2000). A reflectância é uma das propriedades ópticas aparentes que pode ser utilizada para auxiliar em outras medidas radiométricas (Figura1.2). A região de estudo se encaixa em águas do Caso 2.

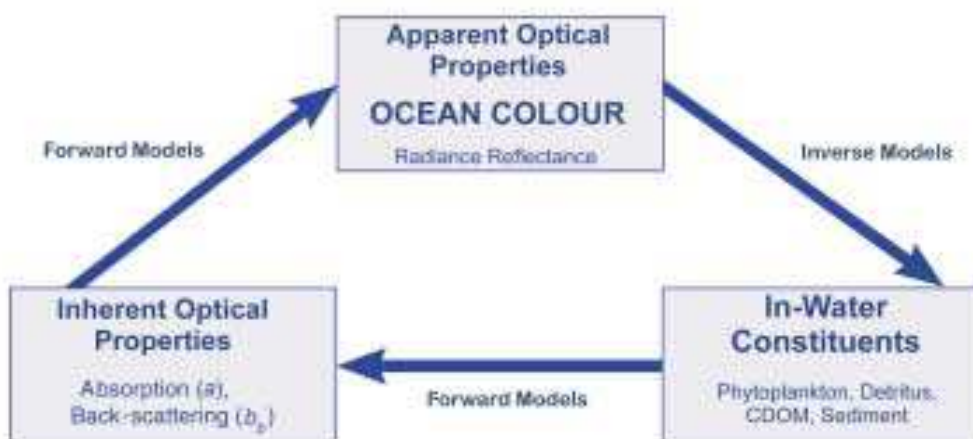


Figura1.2: A cor do oceano é definida pela variação espectral da reflectância R na superfície do oceano e contribui na determinação dos constituintes da água (IOCCG, 2000).

1.2. Área de estudo

A estação de UBATUBA (Figura 1.2) está localizada na Plataforma Continental Sudeste Brasileira – PCSE (23,61°S – 44,59°W), a aproximadamente 20 milhas náuticas da cidade de Ubatuba, no litoral norte do Estado de São Paulo. Possui uma profundidade média de 40 metros e um regime oceanográfico de transição entre águas costeiras e de plataforma continental. Segundo Castro *et al.* (1987). Ao largo dessa faixa costeira, observa-se a presença de águas com influência da Água Tropical (AT), com valores de $T > 20,0^{\circ}\text{C}$ e $S > 36,40\text{‰}$, e da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) com $T < 20,0^{\circ}\text{C}$ e $S < 36,40$. Geralmente, a AT fica próxima da superfície e a ACAS próxima do fundo, principalmente no entorno da quebra de plataforma.

Durante o verão, 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.

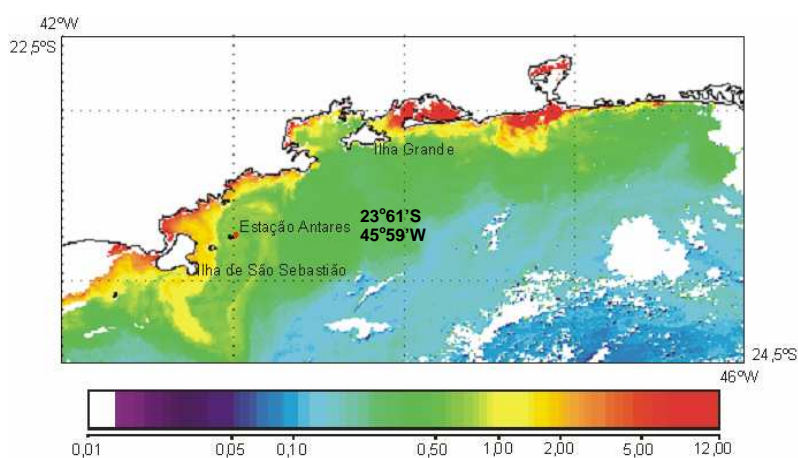


Figura 1.3: Localização da série temporal Antares em Ubatuba, SP (23,61°S-44,59°W)

1.3. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal analisar a reflectância ao longo de uma série temporal em função de dados radiométricos *in situ* e imagens de satélite na região costeira de Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo (23,36°S – 44,58°W). Para alcançar este objetivo, foi e vem sendo necessário coletar amostras em campo com radiômetros multiespectrais, processar os dados obtidos, analisar a relação existente entre os dados coletados e os processados das imagens de satélite MODIS/AQUA e fazer a comparação desse conjunto de dados com o uso de métodos estatísticos. Com isso pretende-se estimar qual a melhor razão referente ao sensor SeaWiFS e o sensor MODIS.

2. Material e métodos

2.1. Medidas radiométricas

Amostragens mensais da reflectância da superfície do mar foram realizadas *in situ* com o spectroradiômetro FieldSpec HandHeld. A leitura do radiômetro abrange a faixa entre 325 – 1075 nm (ultra violeta e infra vermelho próximo).

Os dados hiperspectrais foram então integrados de modo a simular as bandas espectrais dos sensores orbitais de cor do oceano *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS) e MODIS, seguindo a técnica de integração de retângulos descrita em Souto *et al.* (2005). A reflectância de sensoriamento remoto, R_{rs} foi calculada através da razão entre a radiância espectral emergente da água, ou seja, a radiância ascendente logo acima da superfície do mar; e a irradiância espectral incidente na superfície do mar. A irradiância espectral foi estimada através da medida da radiância de uma placa branca feita de Spectralon (Mobley, 1999).

Outro radiômetro utilizado foi o perfilador Profiller II Satlantic cujo um dos objetivos do equipamento é poder estudar águas de caso 2 (Satlantic, 2003).

Os dados hiperspectrais são convertidos por este radiômetro e processados automaticamente. O valor de clorofila-a do radiômetro Satlantic segue a metodologia de Morel, 2001.

2.1.1. Algoritmos empíricos

Neste trabalho foram utilizados os algoritmos empíricos de cor do oceano *Ocean Chlorophyll 4-band* - OC4 e *Ocean Chlorophyll 2-band* - OC2, 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 OC4v4 também relaciona razões de bandas com a clorofila-a através de valores de reflectância, mas emprega a razão de

banda máxima determinada como a maior razão entre os valores de $Rrs(443)/Rrs(555)$, $Rrs(490)/Rrs(555)$ e $Rrs(510)/Rrs(555)$.

Foram utilizados os algoritmos padrões da NASA, OC3M (O'Reilly *et al.* 2000) para determinação da CSM através das imagens do sensor MODIS.

2.1.2. Comparação dos algoritmos

Os dados de reflectância foram então comparados estatisticamente às estimativas obtidas pelos algoritmos empíricos através de análises de correlação de Pearson e regressão linear. Também foram calculados o erro quadrático médio (Carder *et al.* 2004).

2.2 Sensoriamento Remoto

As imagens SeaWiFS serão obtidas através do site da cor do oceano da NASA nos mesmos períodos de coleta *in situ*. Imagens de satélites da cor do oceano e da temperatura da superfície do mar do sensor MODIS (ou Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) instalado a bordo do satélite AQUA da NASA (National Aeronautics and Space Administration) serão adquiridas nos mesmos períodos de coleta *in situ* e processadas digitalmente com o uso do programa SeaDAS, de modo a fornecer informações sobre os campos de concentração de clorofila na camada superficial do mar (CSM) e temperatura da superfície do mar (TSM). As imagens do MODIS/AQUA e SeaWiFS são disponibilizadas pelo sítio da NASA (www.nasa.gov) e pelo sítio da rede ANTARES na Internet (www.antares.ws).

3. Resultados e Discussão

3.1. Medidas radiométricas

3.1.1. Coletas de campo

A tabela 3.1 indica o nome dado a cada estação realizada, a data em que foram feitas as medidas e as etapas já concluídas do projeto, referente ao período de outubro de 2007 (UBA35) até janeiro de 2009 (UBA50).

Tabela 3.1: Etapas realizadas entre out/07 a jan/09.

Estação	Data	FieldSpec	Satlantic	Imagens Satélite
UBA35	17/10/07	x		----
UBA36	08/11/07	x		----
UBA37	18/12/07	x		----
UBA38	24/01/08			----
UBA39	26/02/08	x		----
UBA40	19/03/08	x		----
UBA41	23/04/08	x		----
UBA42	06/05/08	x	x	----
UBA43	18/06/08	x	x	----
UBA44	17/07/08	x	x	x
UBA45	14/08/08	x	x	----
UBA46	02/09/08	x	x	----
UBA47	14/10/08		x	----
UBA48	11/11/08	x	x	----
UBA49	12/12/08		x	----
UBA50	30/01/09	x	x	----

x	Coletado e/ou Processado e Analisado.
	Não foi coletado em campo.
----	Processada mas não analisada.

3.1.2. Reflectância de sensoriamento remoto

As tabelas 3.2 e 3.3 apresentam os valores encontrados para a reflectância de sensoriamento remoto (Rrs) obtidas pelo radiômetro FieldSpec e Satlantic que simulam as bandas de satélite.

Tabela 3.2: Reflectância de sensoriamento remoto de superfície simulando as bandas de satélite - FIELDSPEC (sr^{-1}).

Estação	Data	Rrs412	Rrs443	Rrs490	Rrs510	Rrs555	Rrs670
UBA35	17/10/07	0,00741	0,00712	0,00729	0,00641	0,00484	0,00196
UBA36	08/11/07	0,00545	0,00550	0,00591	0,00574	0,00570	0,00347
UBA37	18/12/07	0,00716	0,00727	0,00731	0,00596	0,00378	0,00043
UBA38	24/01/08						
UBA39	26/02/08	0,00608	0,00554	0,00506	0,00437	0,00318	0,00089
UBA40	19/03/08	0,01116	0,00958	0,00826	0,00649	0,00393	0,00098
UBA41	23/04/08	0,00943	0,00956	0,01027	0,00980	0,00834	0,00269
UBA42	06/05/08	0,00792	0,00853	0,00974	0,00940	0,00807	0,00226
UBA43	18/06/08	0,00656	0,00744	0,00961	0,01019	0,01179	0,00146
UBA44	17/07/08	0,09123	0,11933	0,11937	0,13644	0,17592	0,13996
UBA45	14/08/08	0,00501	0,00806	0,00982	0,00914	0,00834	0,00081
UBA46	02/09/08	0,10413	0,16237	0,17763	0,18212	0,19250	0,05822
UBA47	14/10/08						
UBA48	11/11/08	0,13471	0,17369	0,17286	0,17110	0,19150	0,12183
UBA49	12/12/08						
UBA50	30/01/09	0,01310	0,01664	0,01690	0,01676	0,01991	0,00947

Tabela 3.3: Reflectância de sensoriamento remoto de superfície simulando as bandas de satélite - SATLANTIC (sr^{-1}).

Estação	Data	Rrs412	Rrs443	Rrs490	Rrs510	Rrs555	Rrs670
UBA35	17/10/07						
UBA36	08/11/07						
UBA37	18/12/07						
UBA38	24/01/08						
UBA39	26/02/08						
UBA40	19/03/08						
UBA41	23/04/08						
UBA42	06/05/08	0,0029	0,0036	0,0047	0,0046	0,0041	0,0008
UBA43	18/06/08	0,0052	0,0062	0,0087	0,0091	0,0090	0,0017
UBA44	17/07/08	0,0046	0,0053	0,0074	0,0076	0,0071	0,0012
UBA45	14/08/08	0,0053	0,0059	0,0069	0,0060	0,0042	0,0005
UBA46	02/09/08	0,0064	0,0069	0,0085	0,0077	0,0058	0,0005
UBA47	14/10/08	0,0077	0,0072	0,0076	0,0063	0,0042	0,0004
UBA48	11/11/08	0,0077	0,0072	0,0076	0,0063	0,0042	0,0004
UBA49	12/12/08	0,0025	0,0026	0,0028	0,0025	0,0021	0,0003
UBA50	30/01/09	0,0038	0,0039	0,0043	0,0038	0,0028	0,0003

Analisando as tabelas observamos que os valores de Rrs do UBA44, 46 e 48 para as medidas feitas com o FieldSpec estão muito além do esperado se comparados com os valores do Satlantic. As figuras 3.1 e 3.2 ilustram os espectros obtidos por reflectância acima da superfície da água durante as estações para o radiômetro FieldSpec. Isso pode ter ocorrido devido a placa de intercalibração ou pela amostragem coletada em campo.

Realizou-se então para tentar comprovar os valores encontrados, uma nova medida utilizando-se a placa de laboratório referente ao UBA39 para fazer a intercalibração da placa de campo. Pode-se dizer que a diferença obtida não foi significativa.

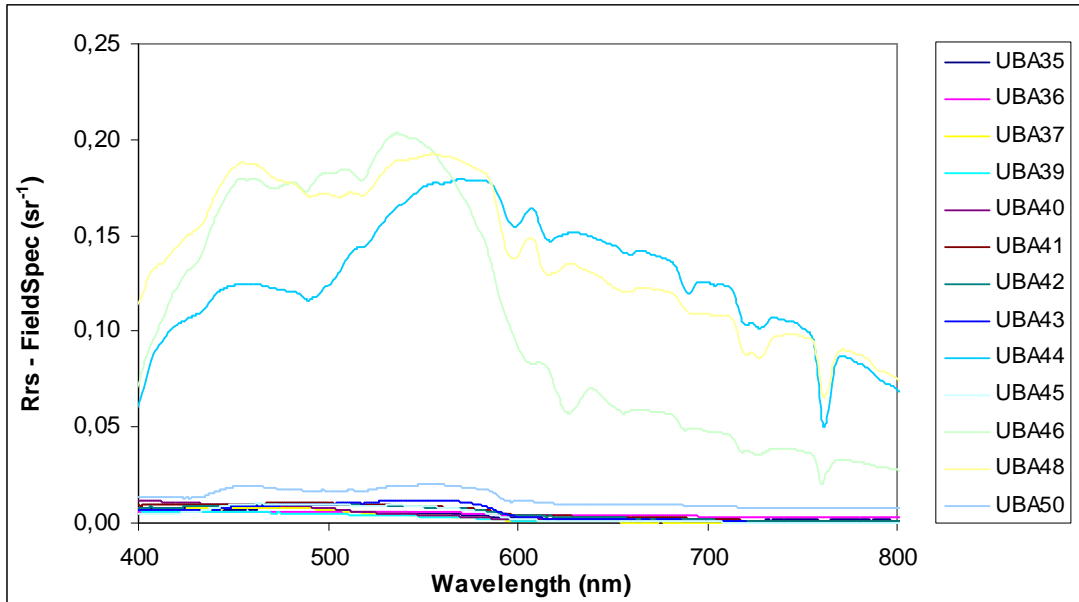


Figura 3.1: Espectros de reflectância de sensoriamento remoto obtidos acima da água com o radiômetro FieldSpec. Observe a escala das curvas no caso do UBA44, 46 e 48.

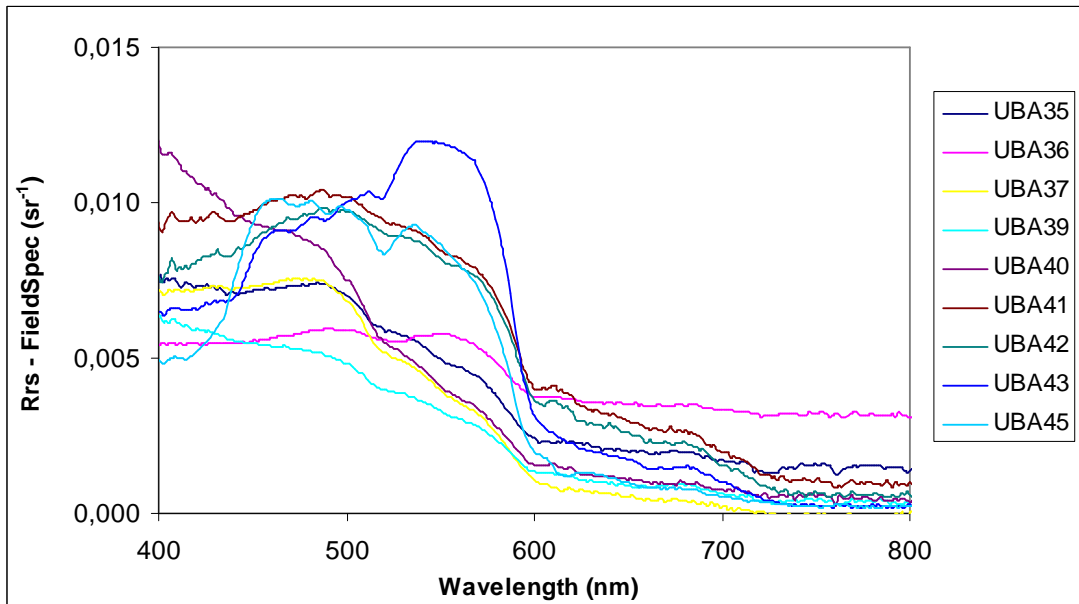


Figura 3.2: Espectros de reflectância de sensoriamento remoto obtidos acima da água com o radiômetro FieldSpec, sem os dados de coleta do UBA44, 46 e 48.

O UBA50 se mostrou um pouco acima da média, mas ainda foi considerado para os cálculos, mas retirado da figura 3.2 para melhor visualização da curva espectral. Comparando com a figura 3.3 que ilustra a Rrs do radiômetro Satlantic percebemos as diferenças para as mesmas estações 44, 46 e 48.

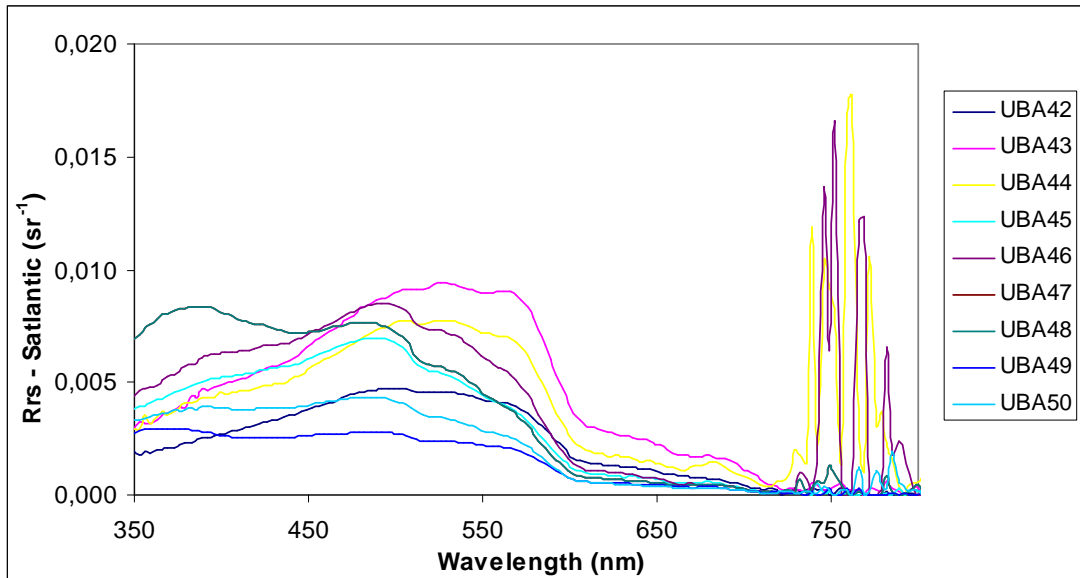


Figura 3.3: Espectro de reflectância de sensoriamento remoto da radiômetro Satlantic.

O Satlantic é um equipamento perfilador e sua medida de reflectância é feita enquanto o equipamento está na superfície. Portanto os valores obtidos por ele são menores que os obtidos pelo FieldSpec, já que não recebe com a mesma intensidade o espalhamento da luz na água. Porém os dois se correlacionam, mostrando que o UBA43 apresentou o maior valor de Rrs na faixa de 500-550nm. Os valores ficaram dentro de uma faixa de 0 à aproximadamente 0,012 (/rs). As figuras se encontram em escalas diferentes pois quando utilizamos os comprimentos de onda da Satlantic entre 350-400nm observamos um cume fora da tendência das outras estações para o UBA48. O FieldSpec não corrobora para uma análise e pretende-se analisar a comunidade planctônica para tentar explicar esse resultado.

Essa diferença nas curvas do UBA44, 46 e 48, podem ser o motivo para os mesmos nos darem resultados de clorofila de aproximadamente

3,5ug/m³ enquanto as medidas *in situ* mostram valores aquém destes, de aproximadamente 0,5ug/m³ (Tabela 3.4).

3.1.3. Concentração de clorofila na camada superficial

A tabela 3.4 apresenta uma comparação entre as concentrações de clorofila durante os UBA's 35 e 50, calculados de acordo com as metodologias citadas anteriormente.

Tabela 3.4: Comparação dos valores obtidos de Chl-a (ug/m³) para os diferentes algoritmos.

Estação	Data	OC2	OC4	OC3M	<i>in situ</i>	Satlantic
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				1,1220	
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	1,4380
UBA43	18/06/08	3,3414	3,7026	3,6687	1,9288	2,0594
UBA44	17/07/08	5,3997	5,3322	5,8337	0,3456	1,7426
UBA45	14/08/08	1,3664	1,4396	1,3637	0,7364	0,6155
UBA46	02/09/08	2,4503	2,7601	2,6716	0,7581	0,8100
UBA47	14/10/08				2,3368	0,5235
UBA48	11/11/08	2,5877	3,1584	2,4778	0,5206	0,5235
UBA49	12/12/08				0,6975	1,0656
UBA50	30/01/09	3,0190	3,9270	3,1375	0,8848	0,6915

3.1.4. Imagens

Nesse caso específico vamos analisar as imagens do UBA44 e 46 referentes ao dia 14 de julho de 2008 e 01 de setembro de 2008 (Figuras 3.4 e 3.5 respectivamente).

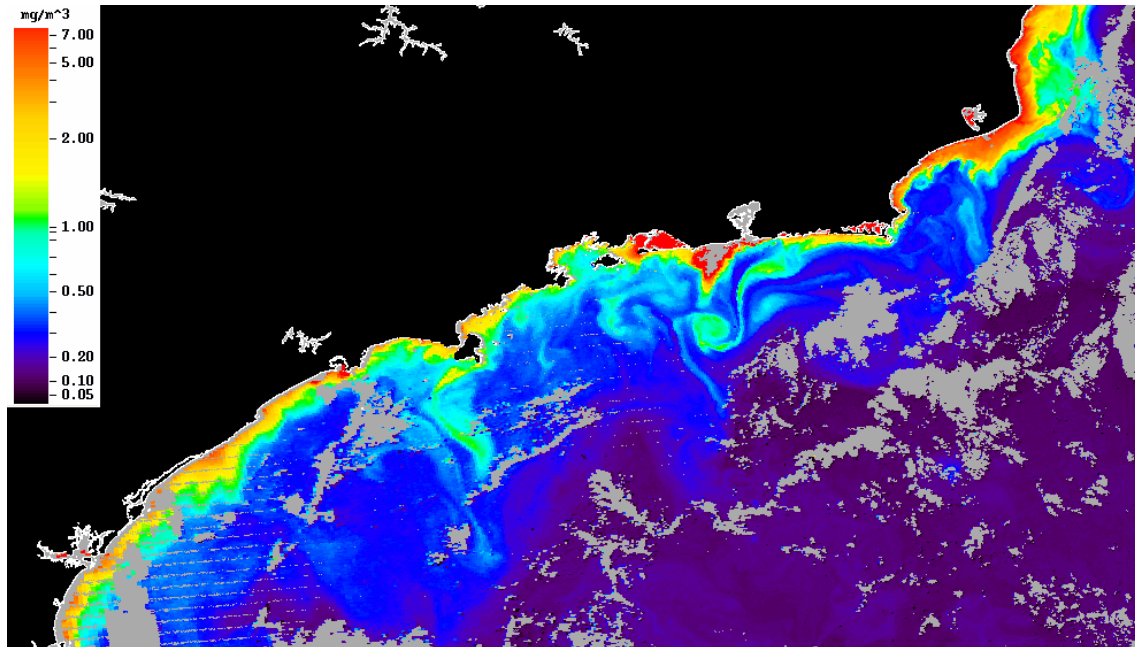


Figura 3.4: Imagem do sensor MODIS referente ao UBA44. Lat. -23.67; Long. -044.95; Horário 16h20m (GMT); Chlor-a: 0,6179 (ug/m^3). Ref.: A2008196162000.I3

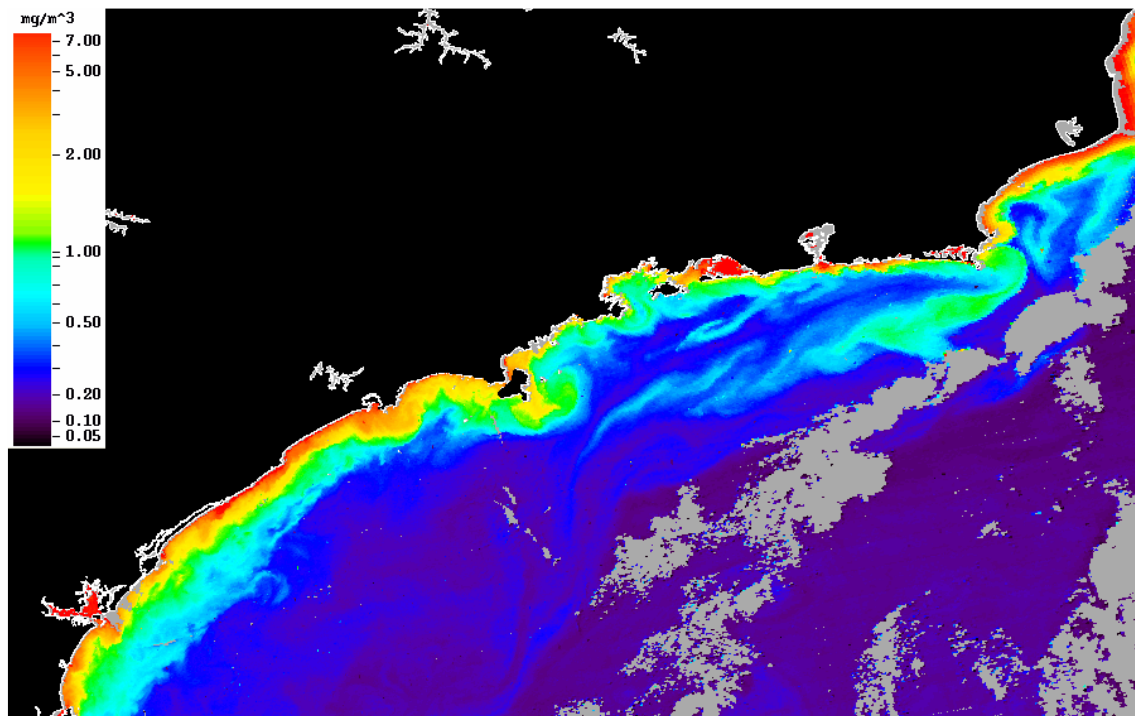


Figura 3.5: Imagem do sensor MODIS referente ao UBA46. Lat. -23.75; Long. -045.12; Horário 17h05m (GMT); Chlor-a: 0,723 (ug/m^3). Ref.: A2008245170500.I3

Foi utilizada uma imagem referente ao dia anterior do UBA46 porque a imagem do dia 02 de setembro de 2008 estava um pouco encoberta pelas nuvens.

Podemos então concluir nesses casos, com o valor encontrado pelo satélite igual a $0,61 \text{ ug/m}^3$ e $0,72 \text{ ug/m}^3$, que possíveis erros devem estar na coleta da amostragem em campo.

A imagem do UBA 48 não pode ser relacionada com o dado de reflectância, pois não há imagem com valores para a região no dia da coleta nem nas semanas anteriores e posteriores.

De um modo geral, pode-se notar que os dados dos algoritmos de satélite superestimaram os dados coletados *in situ*.

3.2. Análise estatística

3.2.1. Comparação entre dados *in situ* e dados radiométricos

Utilizando os valores encontrados pelos algoritmos para estimar a eficiência das medidas radiométricas de reflectância, essas foram divididas em duas classificações: medidas com a presença dos dados “duvidosos” e outro com a ausência destes (Tabela 3.5).

Tabela 3.5: Análise estatística dos algoritmos empíricos em relação aos dados laboratoriais, com e sem a presença dos dados duvidosos.

OC4			
UBA 44, 46 e 48	Correlação	R-quadrado	Regressão F de significação
PRESENTE	0,171286436	0,029339043	0,57580913
AUSENTE	0,550053701	0,302559074	0,099481991
OC2			
UBA 44, 46 e 48	Correlação	R-quadrado	Regressão F de significação
PRESENTE	0,141566863	0,020041177	0,644561042
AUSENTE	0,611440505	0,373859491	0,060336944
OC3M			
UBA 44, 46 e 48	Correlação	R-quadrado	Regressão F de significação
PRESENTE	0,146050684	0,021330802	0,634002991
AUSENTE	0,607848097	0,369479309	0,062286376

Comparando os valores do coeficiente de determinação R-quadrado podemos indicar se o modelo está ajustado aos dados coletados. Observamos que existe uma diferença significativamente grande quando retiramos os dados duvidosos.

Podemos concluir que os dados do OC2 apresentaram a melhor correlação com os dados *in situ* e também o melhor coeficiente de determinação (0,61).

Rudorff et al. (2007), encontraram uma melhor correlação entre o algoritmo OC3M do sensor MODIS que apresentou o maior R^2 (0,55). Garcia et al. (2006) também avaliaram os algoritmos empíricos e encontraram um melhor R^2 nas regressões com os valores do OC2 corroborando ao encontrado neste projeto. Porém Garcia et al. (2006) obteve um R^2 de 0,83 para o OC2.

4. Considerações Finais

É preciso dar muita importância aos dados coletados a bordo pois, como foi visto, eles podem influenciar decisivamente nos valores dos algoritmos empíricos. Eles também vão determinar qual algoritmo se encaixa melhor para a região costeira de São Paulo e validar as calibrações dos algoritmos regionais já existentes para águas de caso 2 brasileiras.

A análise da reflectância marinha nos mostrou uma ligeira variação espectral relacionada com sazonalidade, tendo o verão as menores reflectâncias nas bandas do verde com um máximo no inverno (UBA43), que será visto mais detalhadamente em uma continuação deste projeto.

As análises de clorofila *in situ* e por imagem de satélite puderam nos propor erros em alguns casos de radiometria e auxiliaram na determinação do melhor algoritmo para estimar a clorofila da região.

Todos os algoritmos superestimaram os valores laboratoriais. Isso pode ser devido à interferência de outros constituintes da água que estão presentes durante as medições radiométricas.

Uma maior quantidade de análises da reflectância se faz necessárias, tendo em vista que Garcia et al. (2006) trabalhou com 72 dados e obteve um resultado significativo.

Espera-se fazer uma série de dados para esse projeto com os arquivos da série temporal Antares a partir de 17 de julho de 2006.

5. Referências Bibliográficas

- CASTRO, B.M; MIRANDA, L.B.; MIYAO, S.Y. Condições hidrográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. Bolm. Inst. oceanogr., v.35, n.2, p. 135-151, 1987.
- CARDER, K.L.; CHEN, F.R.; CANNIZZARRO, 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.
- 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.
- IOCCG. Remote sensing of ocean color in coastal, and other optically complex waters. In: SATHYENDRANATH, S.; STUART, V. (Orgs.) Reports of the International Ocean Color Coordinating Group. Dartmouth: IOCCG, 2000.
- 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.
- LEE, Z.P.; CARDER, K.L.; STEWARD, R.G.; PEACOCK, T.G.; DAVIS, C.O.; MUELLER, J.L. Remote-sensing reflectance and inherent optical properties of oceanic waters derived from above-water measurements. SPIE Vol. 2963. 1999.
- LORENZZETTI, J.A. Sensoriamento remoto. In: CASTRO FILHO, B.M. et al. Diagnóstico Ambiental Oceânico e Costeiro das Regiões Sul e Sudeste do Brasil. São Paulo, p.71-97, 1994.
- 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.

- MOREL, A., and S. Maritorena, 2001: Bio-optical properties of oceanic waters: A reappraisal. *J. Geophys. Res.*, 106, 7163-7180.
- 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'REILLEY, J.E. *et al.*. SeaWIFS Post launch Calibration and a Validation Analyses, Part 3, Vol.11. In: HOOKER, S.B.; FIRESTONE, E.R. (eds). NASA Tech. Memo. 2000-2206892. Greenbelt, Md, NASA Goddard Space Flight Center. 2000.
- OUIILLON, S.; PETRENKO A.A. Above-water measurements of reflectance and chlorophyll-a algorithms in the Gulf of Lions, NW Mediterranean Sea. *Optical Society of América*, vol.13, No.7. 2005.
- 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.