

Composição de temperatura da superfície do mar (TSM) para assimilação em modelos numéricos de circulação oceânica

Rosa Cristhyna de Oliveira Vieira Paes ¹
Antônio do Nascimento Oliveira ¹
Gutemberg Borges França ¹
Angelo Sartori Neto ²

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Rua Athos da Silveira Ramos, 274 – Cidade Universitária – CCMN Departamento de Meteorologia/IGEO Bloco H2 – salas 04 e 05 CEP. 21.941-916, Rio de Janeiro – RJ
Brasil

{rosa, antonio, gutemberg}@lma.ufrj.br

² Centro de Pesquisas da Petrobras - Cenes/Petrobras
Av. Horácio Macedo, 950 – Cidade Universitária CEP. 21941-915 Ilha do Fundão,
Rio de Janeiro – RJ
angelosartori@petrobras.com.br

Abstract: This work presents a method for obtaining the optimum average of Sea Surface Temperature (SST) data, without cloud contamination, obtained hourly from GOES satellite data, aiming at the assimilation of SST field in a numerical model of oceanic circulation. It knew that SST field obtained by remote sensed data is an important tool for identifying the oceanographic features, such as eddies, thermal fronts and others; however, it is also well know that cloud cover is the main limitation for that. In order to minimize such cloud cover problem, the methodology proposed is based on the behavior of the variation of SST field in time. The idea is to fill the SST pixel of image with nearest historical data. The results show that is possible to get those pixels with data from 20 days ago taking into account that the accuracy of SST GOES algorithm is $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$. The Results have showed that the final product of SST composition of 48 hours is able to identify mesoscale oceanographic features.

Palavras-chave: sea surface temperature, remote sensing, GOES, temperatura da superfície do mar, sensoriamento remoto.

1. Introdução:

Vários sensores a bordo das plataformas orbitais permitem a obtenção do campo da temperatura da superfície do mar (TSM) para utilização em diferentes áreas do conhecimento. Os principais sensores para este fim, utilizam a janela atmosférica do espectro eletromagnético entre 10 μm a 12 μm , aproximadamente. A grande restrição na estimativa de TSM, por meio de sensores orbitais, é a cobertura de nuvens. De acordo com Paltridge e Platt (1976), a superfície da Terra tem um percentual maior que 50% de cobertura de nuvens.

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a passagem de frentes atmosféricas são os dois principais fenômenos que provocam a cobertura persistente de nuvens na região de estudo. A ZCAS, em particular, é considerada mais crítica à cobertura persistente de nuvens, uma vez que se trata de uma banda de nebulosidade quase estacionária, por um período que varia de 4 a 20 dias, orientados na direção NW/SE, estendendo-se desde a Amazônia até o oceano Atlântico Sul (SEABRA, 2002), atuando principalmente nas regiões das maiores bacias de exploração petrolífera nacional (bacias de Santos, Campos e Espírito Santo).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é estudar e estabelecer o número de dados horários pretéritos de TSM GOES que deve ser utilizado para compor o campo de TSM, considerando a cobertura persistente de nuvens e o potencial de identificação de feições

oceanográficas para formação da grade diária do campo de TSM a ser assimilado pelos modelos de circulação oceânica.

2. Área de estudo e dados:

A área de estudo encontra-se entre as latitudes 10°S e 36°S e entre as longitudes 54°W e 30°W, conforme Figura 1. Os dados de TSM, derivados do satélite GOES-12, utilizados neste trabalho, são denominados MCSST NAVOCEANO. Foram obtidos com resolução temporal horária e resolução espacial de cerca de 5,5 km por 5,5 km para o período de julho de 2008. Os dados estão disponíveis no site ftp://podaac.jpl.nasa.gov/sea_surface_temperature/goes/goes-12/data/. Foram utilizadas 480 imagens horárias de TSM GOES-12, correspondentes a um período de 20 dias.

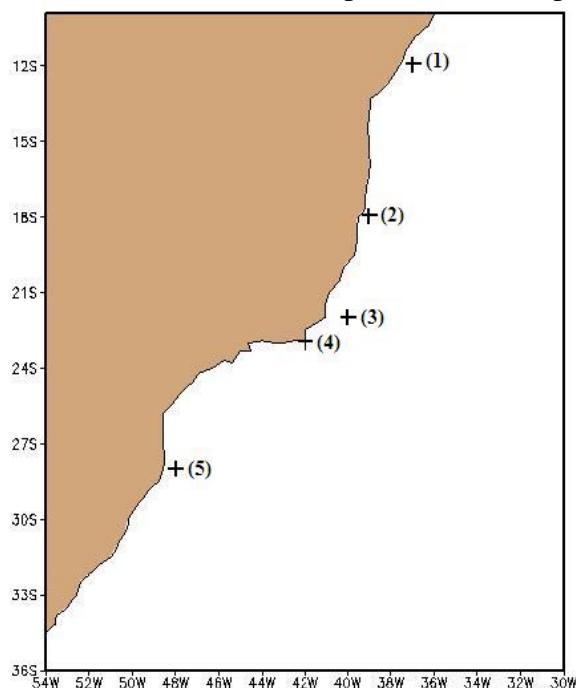


Figura 1: Área de estudo

3. Metodologia:

Com o propósito de compor o campo de TSM diário, faz-se necessário analisar a influência da cobertura de nuvens e a variação temporal da TSM ao longo da distribuição do campo de TSM na região de estudo, no sentido de se estabelecer qual composição média de TSM mais apropriada será empregada. Com esse propósito a seguinte metodologia foi estabelecida:

Passo 1: Estabeleceram-se cinco localidades geográficas próximas à linha de costa sobre a plataforma continental, conforme Figura 1, com as seguintes coordenadas geográficas: Ponto 1-Sergipe (12°S, 37°W), Ponto 2-Abrolhos (18°S, 39°W), Ponto 3-São Tomé (22°S, 40°W), Ponto 4-Cabo Frio (23°S, 42°W), Ponto 5-Cabo Santa Marta (28°S, 48°W);

Passo 2: Calcula-se para os pontos escolhidos no Passo 1 algumas estatísticas diárias, isto é, valores mínimos e máximos, média, desvio-padrão, desvio médio, coeficiente de variação e amplitude. Calculam-se dois coeficientes de variação (CV): o CV referente ao período calculado (t até t-456 horas), que denominaremos CV_diário e o CV_t, que utiliza sempre a média do dia t, ou seja, a data mais atual;

Passo 3: Analisam-se as estatísticas para fins de estabelecer a melhor composição temporal de TSM e o seu respectivo ganho de *pixels* de TSM não contaminados por nuvens, tendo como critério a preservação do potencial de identificação das feições;
 Passo 4: Elabora-se metodologia de composição de campo de TSM apropriado para assimilação diária.

4. Resultados e Discussões:

As Tabelas 1 a 5 apresentam as estatísticas de TSM dos cinco pontos geográficos escolhidos conforme descrito na metodologia, considerando que t, t-24horas, t-72horas, ..., t-456horas significam as composições de TSM média para 24 horas, de forma regressiva, do dia 20 ao dia 1 de julho de 2008, respectivamente. Esta análise consiste em verificar que, mesmo na ocorrência de ZCAS, cujo período máximo de permanência em nossa região é de aproximadamente 20 dias, composições com dados pretéritos com esta janela temporal são eficientes. Considerando que a estimativa de TSM GOES é da ordem de aproximadamente $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (FRANÇA et al., 2007), um dado pixel de TSM, contaminado por nuvens, pode ser substituído com um erro desta ordem. Baseado nisto, a variação temporal dos coeficientes de variação está dentro dos limites aceitáveis. Em outras palavras, pretende-se assim analisar a possibilidade de substituir um *pixel* contaminado por nuvens num tempo t, pela média de uma imagem de TSM composta até o vigésimo dia.

Tabela 1: Estatísticas para Sergipe

	t	t-24h	t-48h	t-72h	t-96h	t-216h	t-336h	t-456h
Val. Mínimo	24,00	24,00	24,60	23,85	24,15	24,90	24,45	25,80
Média	24,50	25,15	24,90	24,41	24,79	25,35	24,96	25,80
Val. Máximo	24,90	25,80	25,20	24,90	25,35	25,35	25,00	25,80
Desv. Médio_média_t	0,33	0,82	0,40	0,31	0,41	0,85	0,49	1,30
Desvio padrão	0,41	0,65	0,42	0,41	0,42	0,31	0,41	0,00
CV_t (%)	1,67	2,65	1,73	1,66	1,72	1,25	1,69	0,00
CV_diário (%)	1,67	2,58	1,70	1,67	1,70	1,21	1,66	0,00
Amplitude	0,90	1,80	0,60	1,05	1,20	0,45	0,55	0,00

Tabela 2: Estatísticas para Abrolhos

	t	t-24h	t-48h	t-72h	t-96h	t-216h	t-336h	t-456h
Val. Mínimo	22,95	23,25	23,10	22,80	22,80	22,50	22,65	23,25
Média	23,21	23,58	23,87	23,57	23,58	23,41	22,99	23,68
Val. Máximo	23,55	23,70	24,60	24,15	24,30	23,35	23,05	23,68
Desv. Médio_média_t	0,20	0,37	0,68	0,44	3,80	0,39	0,27	0,48
Desvio padrão	0,22	0,18	0,32	0,35	0,44	0,48	0,24	0,30
CV_t (%)	0,97	0,76	1,39	1,50	1,91	2,07	1,04	1,29
CV_diário (%)	0,97	0,74	1,36	1,47	1,88	2,05	1,05	1,26
Amplitude	0,60	0,45	1,50	1,35	1,50	0,85	0,40	0,43

Tabela 3: Estatísticas para São Tomé

	t	t-24h	t-48h	t-72h	t-96h	t-216h	t-336h	t-456h
Val. Mínimo	22,20	22,50	21,30	22,35	23,25	23,40	22,65	22,50
Média	22,72	22,89	22,15	23,01	23,63	23,67	23,44	23,37
Val. Máximo	22,95	23,25	23,25	23,70	24,15	23,67	23,44	23,37
Desv. Médio_média_t	0,24	0,23	0,92	0,44	0,91	0,95	0,73	0,70
Desvio padrão	0,31	0,23	1,00	0,45	0,38	0,20	0,50	0,52
CV_t (%)	1,37	0,99	4,40	1,99	1,66	0,86	2,18	2,28
CV_diário (%)	1,37	0,99	4,51	1,97	1,60	0,83	2,12	2,22
Amplitude	0,75	0,75	1,95	1,35	0,90	0,27	0,79	0,87

Tabela 4: Estatísticas para Cabo Frio

	t	t-24h	t-48h	t-72h	t-96h	t-216h	t-336h	t-456h
Val. Mínimo	20,55	19,95	20,70	20,55	S/D	21,30	20,85	21,30
Média	21,00	20,64	21,20	20,85	S/D	21,53	21,58	21,53
Val. Máximo	21,30	21,00	21,45	21,00	S/D	21,53	21,58	21,53
Desv. Médio_média_t	0,12	0,36	0,40	0,15	S/D	0,52	0,60	0,52
Desvio padrão	0,20	0,35	0,43	0,18	S/D	0,19	0,39	0,16
CV_t (%)	0,95	1,66	2,06	0,87	S/D	0,92	1,85	0,75
CV_diário (%)	0,95	1,69	2,04	0,88	S/D	0,90	1,80	0,73
Amplitude	0,75	1,05	0,75	0,45	S/D	0,23	0,73	0,23

S/D = sem dados

Tabela 5: Estatísticas para Cabo de Santa Marta

	t	t-24h	t-48h	t-72h	t-96h	t-216h	t-336h	t-456h
Val. Mínimo	17,70	17,70	16,80	17,10	S/D	18,30	17,10	17,70
Média	18,26	17,70	17,61	17,54	S/D	18,90	18,09	18,15
Val. Máximo	18,45	17,70	18,30	18,00	S/D	18,90	18,08	18,15
Desv. Médio_média_t	0,16	0,56	0,68	0,72	S/D	0,64	0,26	0,45
Desvio padrão	0,26	0,00	0,49	0,31	S/D	0,70	0,37	0,57
CV_t (%)	1,40	0,00	2,67	1,70	S/D	3,81	2,00	3,15
CV_diário (%)	1,40	0,00	2,77	1,77	S/D	3,68	2,02	3,17
Amplitude	0,75	0,00	1,50	0,90	S/D	0,60	0,98	0,45

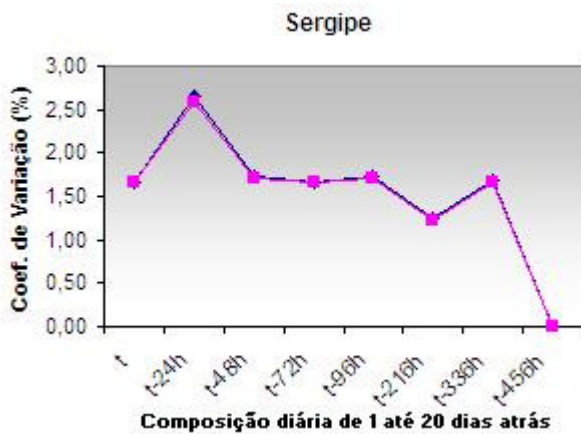
S/D = sem dados

Na verdade, o ideal para a modelagem oceânica é um campo de TSM do horário da assimilação. No entanto, a estimativa de TSM, via sensores orbitais, sem nuvens, não é possível. Segundo França et al. (2007), observou-se que a cobertura persistentes de nuvens para as composições de TSM de 24 e 48h são 29% e 16%, respectivamente, para as bacias de Santos, Campos e Espírito Santo. Como essa região é parte da região de estudo e a mais crítica quanto à cobertura de nuvens, devido à ação da ZCAS, utilizou-se esses percentuais de cobertura de nuvens como referência.

Observa-se que em composições de 48 horas é possível se obter um ganho de cerca de 13% em relação à composição de 24 horas, o que representa um ganho significativo se comparado à suavização gerada na imagem. Desta forma, o problema se resume em preencher os *pixels* de TSM contaminados por nuvens sem que os mesmos se afastem dos seus valores originais, considerando a estimativa de TSM.

Conforme resultados apresentados nas Tabelas 1 a 5, o maior coeficiente de variação, em percentual, ocorreu em São Tomé, com 4,40%, correspondente ao desvio médio máximo de 0,92°C (Figura 2-(c)).

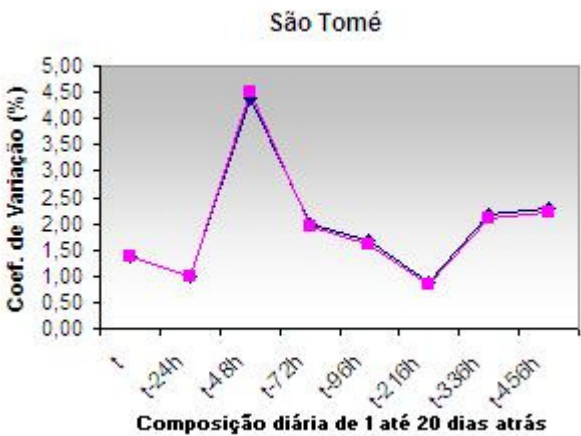
(a)



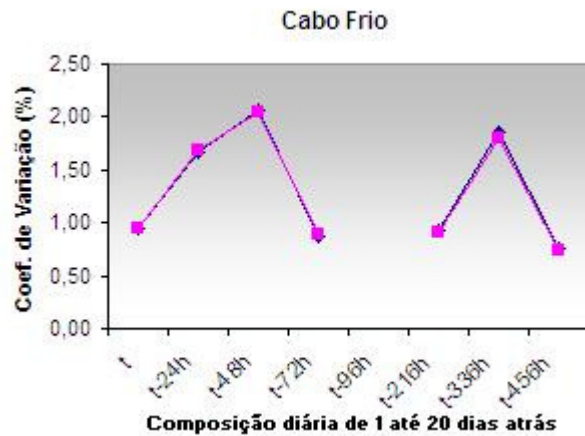
(b)



(c)



(d)



(e)

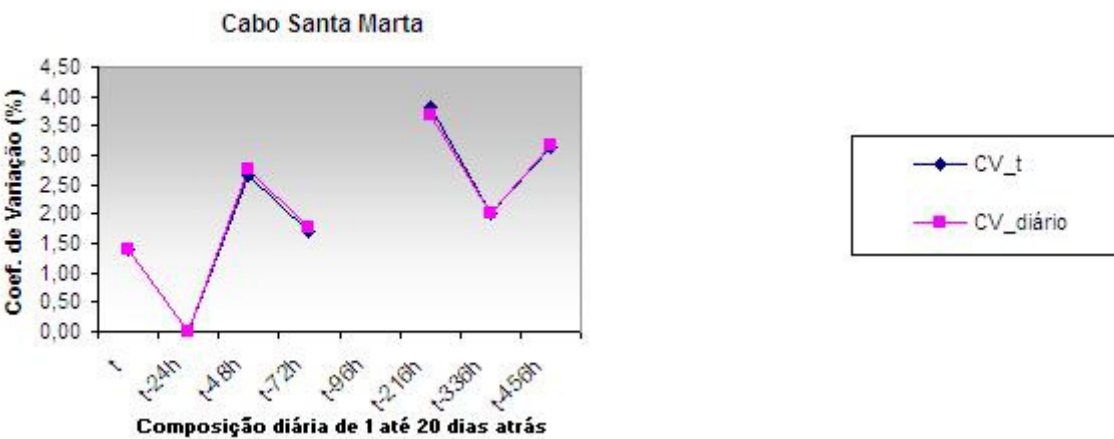


Figura 2-(a),(b),(c),(d),(e): Comparação entre CV_diário e CV_t nos Pontos 1 a 5, (a),(b),(c),(d),(e), respectivamente

Tendo em vista o exposto sobre a cobertura de nuvens da composição de TSM média de 24 h e 48 h, observa-se que a média de TSM das últimas 48 h parece ser bastante razoável com o campo de TSM a ser assimilado, pois há um ganho na diminuição da cobertura persistente de nuvens na imagem, em relação à de 24 h, e a

imprecisão desta composição está dentro do erro da estimativa da TSM, conforme já mencionado. A desvantagem é a suavização das feições, mascarando suas evoluções no período de 48 horas.

É importante ressaltar que na composição de 48 horas não se perde informação dos valores absolutos de TSM, mas apenas possíveis feições (meandros ou vórtices) que poderiam ser suavizadas, dificultando seu monitoramento. No entanto, essa suavização não é suficiente para impedir a identificação das feições oceanográficas de mesoescala, considerando-se velocidades médias da Corrente do Brasil (CB). Silveira et al. (2000), a partir da compilação de velocidades da CB apresentadas por diversos autores, apresentou as velocidades máximas da CB que se seguem: 0,31 m/s em 12° S, 0,60 m/s em 18° S, 0,19 m/s em 22° S, 0,55 m/s em 23° S e 0,60 m/s em 28° S. Sendo assim, o deslocamento máximo durante dois dias nas latitudes estudadas é de aproximadamente: 53 km em 12° S, 100 km em 18° S, 32 km em 22° S, 86 km em 23° S e 100 km em 28° S.

Considerando o preenchimento de nuvens com dados pretéritos, utilizando a metodologia proposta neste trabalho, observa-se que na situação mais crítica, sob influência da ZCAS, que o *pixel* será preenchido com o valor de TSM bastante coerente e dentro da acurácia para estimativas de TSM. Em outras palavras, na situação mais crítica, pode-se dizer que o campo de TSM médio das últimas 48 h, a ser assimilado em modelos de circulação oceânica, pode ter até 16% de dados preenchidos com valores de TSM de até 20 dias, sem que haja descaracterização do campo.

Finalmente, a metodologia para geração do campo de TSM a ser assimilado seguirá os seguintes passos:

Passo 1: Recortam-se os dados das imagens de TSM-GOES horárias para área de interesse;

Passo 2: Calcula-se a média dos *pixels* de TSM (horária) para o período de dados das últimas 48 horas e guarda como histórico;

Passo 3: Substituem-se todos os *pixels* contaminados por nuvens da composição atual por *pixels* sem contaminação por nuvens da composição gerada no dia anterior. Os *pixels* sem contaminação por nuvens da composição atual são mantidos, obtendo-se assim uma nova composição de 48 h para o dia corrente;

Passo 4: A composição obtida no Passo 3 será o histórico para a composição do dia subsequente.

A Figura 3 ilustra um exemplo da composição de TSM de 48 horas, conforme metodologia descrita acima.

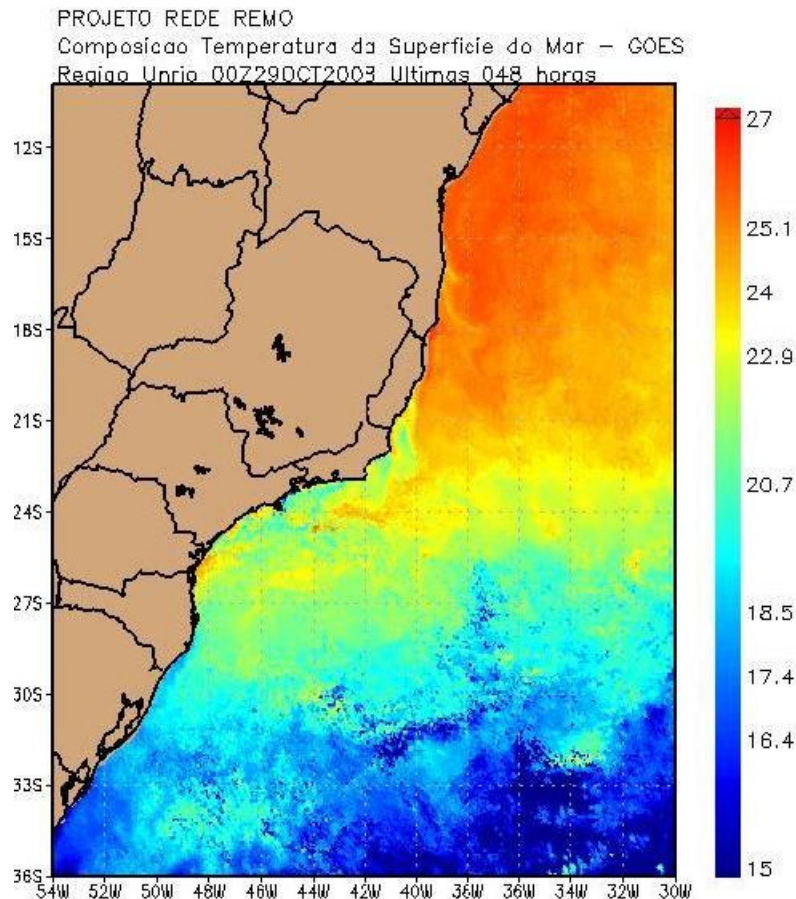


Figura 3: Composição de TSM de 48 h do dia 29 de outubro de 2008 para região de estudo

5. Conclusões:

Considerando o objetivo deste trabalho, analisou-se a melhor composição temporal de campos de TSM horários, visando à construção da grade de campo de TSM a ser assimilado pelo modelo de circulação oceânica.

Tendo como premissa o potencial de identificação de feições, a manutenção do valor absoluto de TSM para o horário de assimilação pelo modelo, a imprecisão do algoritmo de estimativa de TSM GOES ($\pm 1^\circ\text{C}$) e o ganho do percentual de cobertura persistentes de nuvens, a melhor composição é a média de TSM de 48 horas.

Tal conclusão baseia-se no estudo zonal da TSM horária da área de estudo por um período de 20 dias, considerando o período máximo de persistência de cobertura de nuvens de um dado *pixel* para o evento de ZCAS sobre a região.

O máximo coeficiente de variação da TSM foi de 4,40% do valor de TSM, correspondendo a um desvio médio máximo de $0,92^\circ\text{C}$ para todo o período estudado.

Como futuro trabalho, pretende-se implementar rotina de interpolação ótima e inclusão de dados de TSM AVHRR e microondas, visando a melhor composição sem nuvens.

Agradecimentos

A REMO (Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica) pelo apoio financeiro através do Projeto ANPETRO 10552.

Referências Bibliográficas

FRANÇA, G. B.; CARVALHO, W. S. 2004. Sea surface temperature GOES-8 estimation approach for the Brazilian Coast. INT. J. REMOTE SENSING, VOL. 25, No 17, 3439-3450.

FRANÇA, G. B.; LORENZZETTI, A.; KAMPEL, M. 2007. Avaliação do Potencial de Identificação de Feições Atmosféricas e Oceânicas utilizando dados GOES para a região da Bacia de Campos, Relatório técnico FUNCATE GTE/TSM-01 (PETROBRAS/CENPES).

PATTRIDGE, G. W., PLAT, C. M. R., 1976, Radiative Processes in Meteorology and Climatology. Elsevier, New York.

SEABRA, M., 2002. Estudo sobre a influência da zona de convergência do atlântico sul em bacias hidrográficas nas regiões sudeste e centro-oeste do Brasil. Tese de mestrado. COPPE/UFRJ.

SILVEIRA, I. C. A. DA; SCHIMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S. DE; IKEDA, Y. 2000. A Corrente do Brasil ao Largo da Costa Leste Brasileira, **Rev. bras. Oceanogr.**, 48(2):171-183(C11).

Dados GOES_12. Disponível em: <ftp://podaac.jpl.nasa.gov/sea_surface_temperature/goes/goes-12/data/>. Acesso em: 10 out. 2008.