

COMPARAÇÕES ENTRE TEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE DO MAR *IN SITU* MEDIDAS POR SATÉLITE NA REGIÃO OESTE DO ATLÂNTICO SUL

São Paulo, Junho de 2004



MILTON KAMPEL⁽¹⁾, JOÃO A. LORENZZETTI⁽¹⁾, SALVADOR A. GAETA⁽²⁾, EDUARDO NEGRI⁽¹⁾
 milton@dsr.inpe.br, loren@dsr.inpe.br, sagaeta@usp.br, negri@dsr.inpe.br



¹ Divisão de Sensoriamento Remoto, Coordenadoria de Observação da Terra, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. Dos Astronautas, 1758, 12227-010, S. J. dos Campos, SP
² Departamento de Oceanografia Biológica, Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, Praça do Oceanográfico, 191, 05508-900, São Paulo, SP

INTRODUÇÃO

A obtenção *in situ* da temperatura da superfície do mar (TSM) por métodos tradicionais inclui a medição direta com termômetros de mercúrio, de resistência elétrica e de pressão de vapor, entre outros. Estas medidas normalmente são obtidas em cruzeiros oceanográficos a partir de embarcações ou por bóias, amostrando áreas limitadas em escala quase-sinóptica. Radiômetros de infravermelho instalados a bordo de satélites artificiais em órbita da Terra permitem, com algumas limitações, estimar a TSM em escala global com resolução temporal diária. A TSM estimada por satélite é resultante de processos de emissão termal que ocorrem numa fina camada sub-milimétrica na superfície, em contraste com as temperaturas *in situ*, representativas de um volume de fluido. Não obstante essas diferenças básicas, uma forte correlação é verificada entre os dois métodos de medidas, que são de caráter complementar.

Estimativas globais de TSM por satélite vêm sendo derivadas operacionalmente a partir dos satélites ambientais da *National Oceanic and Atmosphere Administration* (NOAA) desde a década de 80. A obtenção da TSM a partir do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) tem sido empregada em diversas aplicações oceanográficas tais como em estudos de mudanças climáticas globais, identificação de ressurgências, vórtices, meandramentos e frentes, fornecimento de suporte à pesca de peixes pelágicos, monitoramento dos campos de TSM e/ou correntes oceânicas superficiais, entre outros.

Os algoritmos multicanal *Multi-Channel Sea Surface Temperature* (MCSST) foram desenvolvidos para minimizar o efeito da atenuação atmosférica sobre a temperatura de brilho utilizando-se das diferenças entre temperaturas de dois ou três canais termiais. Estes algoritmos incluem, também, um termo de correção para o ângulo de visada do sensor, visto que as radiancias medidas nos diversos canais decaem mais acentuadamente para ângulos de varredura maiores do que os canais (caminhos atmosféricos mais extensos). Os coeficientes das equações multicanal para a obtenção da TSM são determinados de forma empírica através de regressões entre os dados de satélite (AVHRR/NOAA) e dados globais de temperatura do mar obtidos *in situ*. Embora estudos indiquem uma acurácia típica da ordem de 0,5°C para os algoritmos globais da NOAA, são raros estudos semelhantes, agora regionalizados para a costa brasileira.

Neste trabalho, dados da TSM medidos *in situ* com equipamento CTD a bordo de navio são comparados com estimativas obtidas concomitantemente pelo sensor AVHRR/NOAA na costa sudeste brasileira. A acurácia dos algoritmos globais MCSST utilizados na geração da TSM por satélite é avaliada pelo cálculo da diferença média e valor rms (*root mean square*) entre as duas medidas.

CRUZEIROS OCEANOGRÁFICOS

As temperaturas *in situ* foram medidas com equipamento CTD (*Falmouth Scientific Inc.*) em quatro cruzeiros oceanográficos do projeto DEPROAS na costa sudeste brasileira, nos períodos de verão e inverno de 2001 e 2002 (Figura 1). A área de estudo abrange a plataforma continental entre o Cabo de São Tomé (22°S), RJ e a Ilha de São Sebastião (23°50'S), SP. Representa a porção norte da plataforma continental sudeste brasileira. Os cruzeiros foram realizados nos seguintes períodos: M1 – 7/2/2001 a 13/2/2001; M2 – 12/7/2001 a 19/07/2001; M3 – 5/1/2002 a 24/1/2002 e M4 – 3/8/2002 a 21/8/2002. Em cada estação foram anotados os horários, posição geográfica (GPS Furuno 1250, WGS-84), condições meteorológicas (pressão, velocidade e direção do vento, cobertura de nuvens) e profundidade. Os dados hidrográficos foram reduzidos e editados de acordo com as recomendações da UNESCO (1988) pelo Laboratório de Dinâmica Oceânica do IOUSP.

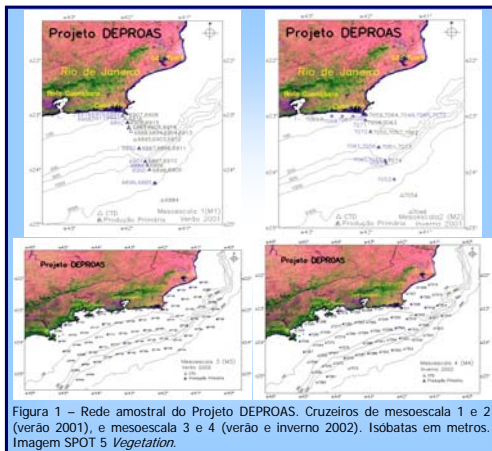


Figura 1 – Rede amostral do Projeto DEPROAS. Cruzeiros de mesoescala 1 e 2 (verão 2001), e mesoescala 3 e 4 (verão e inverno 2002). Isóbatas em metros. Imagem SPOT 5 *Vegetation*.

SENSORIAMENTO REMOTO

Imagens termiais orbitais de infravermelho termal do sensor AVHRR foram adquiridas nos mesmos períodos dos cruzeiros oceanográficos e processadas de modo a fornecer informações sobre os campos de TSM, com a utilização do algoritmo MCSST.

Princípios Físicos

A teoria de transferência radiativa geral pode ser utilizada para estimar a temperatura superficial de praticamente, qualquer corpo dada a sua radiação emitida. Na faixa de infravermelho termal do espectro eletromagnético, o oceano pode ser considerado como um corpo negro e sua radiação emitida, ou excitância, pode ser aproximada a do radiador de Planck:

$$W_i = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}$$

Onde: $C_1 = 2\pi^5 c^2 h = 3,7416 \times 10^{-12} \text{ W.cm}^2$; $C_2 = ch/k = 1,4389 \text{ cm.K}$; com λ em cm e T em K ($= ^\circ\text{C} + 273$); c = velocidade da luz; h = constante de Planck; k = constante de Boltzman. A temperatura do corpo em questão pode então ser estimada. No caso do sensoriamento remoto, em princípio, a TSM pode ser expressa em termos das estimativas de temperatura em dois comprimentos de onda, ou canais radiométricos (McMillin e Crosby, 1984) pela equação:

$$\text{TSM} = aT_i + \gamma(T_i - T_j) + c$$

Onde T_i e T_j são as temperaturas de brilho medidas nos canais (bandas) i e j ; c é uma constante e a é normalmente igual a 1. O termo de absorção diferencial γ é definido como uma função da transmitância atmosférica τ para as respectivas bandas em questão, ou seja:

$$\gamma = (1 - \tau_i) / (\tau_i - \tau_j)$$

A transmitância é dada por $\tau = e^{-kL}$, onde k é o coeficiente de absorção de massa e L é o comprimento da trajetória.

Sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR)

O sensor AVHRR está instalado a bordo dos satélites da série NOAA. As espaçonaves da NOAA são colocadas em órbitas heliosíncronas, circulares quase-polares, com altitude média de 850 km (Figura 2). Duas altitudes nominais de 833 km e 870 km foram selecionadas para permitir a operação simultânea de dois satélites (Rao, 1990). O sensor AVHRR é um radiômetro imageador de varredura que detecta a energia nas faixas do visível e infravermelho do espectro eletromagnético. Este radiômetro possui atualmente (satélites NOAA 15, 16 e 17) seis canais espectrais que observam simultaneamente uma mesma superfície terrestre. Nas versões anteriores dos satélites NOAA (12, 14) o instrumento possui apenas 5 canais espectrais. Cada canal do instrumento possui um campo de visada instantânea (IFOV) médio de 1,3 miliradianos proporcionando assim, uma resolução espacial de 1,1 km no nadir.

Processamento Digital

Imagens do sensor AVHRR de alta resolução (1 x 1 km) foram adquiridas durante a realização dos cruzeiros oceanográficos, através da estação de recepção *High Resolution Picture Transmission* do INPE, em São José dos Campos, SP. Os dados brutos dos satélites são calibrados radiometricamente para gerar valores de albedo e temperaturas de brilho referentes à superfície imageada. As áreas com intensa nebulosidade ou com baixos ângulos de elevação do satélite (37°) são descartadas. As imagens selecionadas são recortadas de acordo com a área de interesse. Cada imagem deve passar por algoritmos de correção atmosférica antes do cálculo das temperaturas. Os valores de TSM foram calculados com a utilização dos algoritmos MCSST divulgados pela NOAA (Kidwell, 1995).

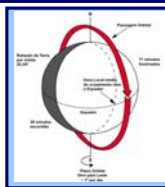


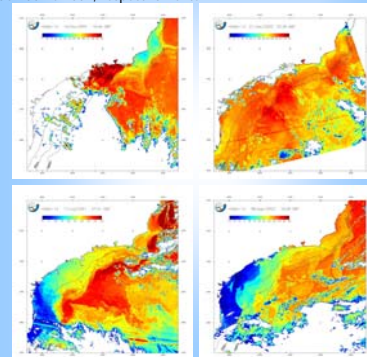
Figura 2 – Configuração do tipo de órbita dos satélites NOAA.

COMPARAÇÕES ENTRE DADOS *IN SITU* E DADOS DE SATÉLITE

Comparações entre temperaturas da superfície do mar medidas *in situ* e estimadas pelo AVHRR foram realizadas dentro de um período de ± 1 dia, a partir da data da estação oceanográfica. Este intervalo de tempo não permite evitar os efeitos provocados pelo aquecimento diurno e resfriamento noturno das camadas superiores do oceano. Os pares de dados foram formados entre a TSM *in situ* e o valor mediano de uma janela de 5 x 5 pixels (25 km x 25 km) centrada na posição geográfica da estação oceanográfica na imagem equivalente.

IMAGENS DE TSM

A seguir, são mostrados exemplos de imagens de TSM processadas para os períodos dos cruzeiros de verão e inverno de 2001 e 2002, respectivamente.



Período	$T_{i,j} = aT_i + bT_j + c$					$\Delta T = T_{i,j} - T_{i,j}$	
	a	b	R ²	R ²	rms	média	dp
Verão	0,622	0,701	0,87	0,87	1,00	-0,32	1,26
Inverno	0,644	0,682	0,88	0,88	0,87	0,89	
Verão+Inverno	0,700	0,723	0,87	0,88	1,00	0,26	1,06

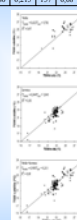


Diagrama de dispersão das temperaturas obtidas por satélite (AVHRR/NOAA) versus a TSM medida *in situ*, para os períodos de verão, inverno e verão + inverno.

CONCLUSÕES

Mesmo com o número de pontos tendo sido maior no inverno que no verão ($n = 115$ e 42 , respectivamente), pode-se notar que, de modo geral, o algoritmo por satélite subestimou as temperaturas *in situ* no inverno ($\Delta T = -0,47$ °C) e superestimou no verão ($\Delta T = -0,32$ °C).

Com relação ao conjunto completo de dados, a diferença ΔT médias foi igual a 0,26 °C, indicando uma subestimativa dos valores de TSM pelo AVHRR. Ainda que as correções atmosféricas aplicadas nestas imagens tenham subestimado ou superestimado os efeitos da atmosfera e da superfície de pele do oceano, a diferença média total encontrada ficou abaixo de 0,5 °C. Este resultado demonstra que o emprego dos algoritmos globais MCSST da NOAA é satisfatório para a região de estudo.

REFERÊNCIAS

- KIDWELL, K.B. *NOAA polar orbiter data users guide*. Washington, D.C. NOAA NESDIS/NGDC/SDSD, 1995. 260 p.
- McMILLIN, L.M.; CROSBY, D.S. Theory and validation of multiple window sea surface temperature technique. *J. Geophys. Res.*, v.89, p. 3655-3661, 1984.
- RAO, P.K. ed. *Weather satellites: systems, data, and environmental applications*. Boston, AMS, 1990. 503p.
- UNESCO. *Progress on oceanographic tables and standards: work and recommendations of the UNESCO/SCOR/ICES/IAPSO Joint Panel*. Unesco technical papers in marine science 50, 1988.

AGRADECIMENTOS

MCT – PRONEX proc. 368/96
 Tripulação do Navio Oceanográfico Prof. Benard
 Dr. Ilson da Silveira responsável pelo processamento dos dados CTD