

Uso de parâmetros “*All-pixel-SST*” na estimativa de campos de TSM com base em dados do sensor AVHRR

Eduardo da Silva Gigliotti¹
Luiz Eduardo de Souza Moraes¹
Ronald Buss de Souza¹
Olga Tiemi Sato²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{edsilva,lemoraes,ronald}@dsr.inpe.br

² Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo – IOUSP
Caixa Postal 05.508-120 - São Paulo – SP, Brasil
olga@io.usp.br

Abstract. This paper proposes an alternative method to improve sea surface temperature plots (SST), using data distributed as *all-pixel-SST* product from the Pathfinder v.5 Project. The National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA/NASA Oceans Pathfinder Sea Surface Temperature data are derived from measurements made by the Advanced Very High Resolution Radiometers (AVHRRs) on board the NOAA polar orbiting satellites. The Pathfinder algorithm are based on the NOAA/National Environmental Satellite Data and Information Service nonlinear SST operational algorithm (NLSST) which applies decision trees to determine objectively pixel cloud contamination and quality level. The method uses a temporal interpolation in order to eliminate data contamination by the presence of clouds. After substitution of all contaminated pixels, SST maps from the resulting data set, and from the *Best Sea Surface (BSST)* product, also available in the Pathfinder Project, were visually compared. Additionally, variability decomposition in Empirical Orthogonal Functions (EOF) of both data sets was performed by Principal Component Analysis (PCA). The efficiency of our temporal interpolation method was verified by determining the correlation coefficients between the spurious and processed data. SST fields derived from all-pixel interpolated data allowed the detection of important oceanic features, such as upwelling fronts and eddies, which were not observed in BSST fields. On the other hand, variability of the all-pixel time series on the first three EOF modes was lower than on BSST time-series. Analysis of the correlation coefficient maps showed a good correlation with the original data, despite the interpolation procedure.

Palavras-chave: Southeastern Brazilian Bight, sea surface temperature, Plataforma Sudeste Brasileira, temperatura da superfície do mar, AVHRR.

1. Introdução

O estudo da dinâmica de processos oceânicos com base nos campos de temperatura da superfície do mar (TSM) é severamente limitado por fenômenos meteorológicos que modificam as propriedades atmosféricas e controlam as concentrações de vapor d'água, CO₂ e aerossóis. A presença de nuvens, em especial, inviabiliza medidas locais adequadas da radiação do infravermelho termal, o que resulta na contaminação destes campos por valores irrealistas de TSM. O sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) é o radiômetro multiespectral a bordo dos satélites da série TIROS-N da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), amplamente utilizado na geração de estimativas de TSM. O AVHRR apresenta cinco canais espectrais, dos quais três abrangem a faixa do infravermelho termal (1.58-12.5µm).

Atualmente, a NOAA emprega o algoritmo NLSST (*Non Linear Sea Surface Temperature*) na correção do efeito dos constituintes atmosféricos (Kilpatrick et al, 2001). Esse algoritmo é uma variante da técnica MCSST (*Multi-Channel Sea Surface Temperature*), que se baseia em operações de regressão múltipla entre pares diferentes de combinações de 2 ou 3 canais do sensor AVHRR, resultando em sistemas de equações de correção atmosférica

(técnicas de janela dupla, dividida e tripla) (Souza et al., 2005). A equação geral utiliza constantes derivadas dos quadrados dos resíduos de um modelo de regressão entre dados de satélite e dados *in situ*, e das temperaturas de brilho nos canais 4 e 5 do sensor (McClain et al., 1985). As estimativas resultantes apresentam pequena margem de erro, e boa coerência com conjuntos de medidas *in situ* provenientes de bóias de deriva e de cruzeiros oceanográficos (Souza et al 2005).

O projeto *Pathfinder* é desenvolvido conjuntamente pela NOAA e pela NASA, com parceria da *Miami's Rosenthal School of Marine and Atmospheric Sciences*, e mantém o banco de dados mais completo sobre as estimativas globais de TSM do sensor AVHRR. Atualmente o projeto encontra-se em sua 5ª versão, sendo distribuído pelo PODAAC (*Physical Oceanography Distributed Active Archive Center*). Dentre os produtos, ou variáveis disponibilizadas, encontram-se o conjunto de medidas de TSM denominado “*all-pixel-SST*”, gerado a partir da aplicação do algoritmo padrão, utilizando todos os pixels disponíveis, independente da contaminação por nuvens, e o conjunto denominado “*Best Sea Surface Temperature (BSST)*”, que consiste de um conjunto de medidas similares, porém derivadas de um processo de interpolação espacial, utilizando-se apenas pixels com menor contaminação (bandeira de qualidade 5, ou superior). O algoritmo *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature Version 2 - first guess SST Field* é utilizado no processo de interpolação espacial supracitado. A utilização de dados TSM restrita a pixels de melhor qualidade pode, entretanto, limitar os resultados levando a não detecção de feições oceanográficas breves, como vórtices de curto tempo de vida; ou a estimativas subestimadas da variabilidade espaço-temporal de campos de TSM.

Este trabalho tem por objetivo propor e testar uma nova metodologia baseada na interpolação estatística de dados “*all-pixel-SST*” no domínio temporal, para o estudo da variabilidade espaço-temporal dos campos TSM da Região da Plataforma Sudeste Brasileira. O resultado é, posteriormente, comparado ao campo de TSM construído com base no produto *BSST*, e sua eficiência avaliada em termos das estimativas da variabilidade em meso-escala.

2. Materiais e Métodos

Neste trabalho foram utilizadas as médias mensais dos parâmetros “*all-pixel-SST*” e “*Best Sea Surface Temperature (BSST)*”, adquiridos do produto AVHRR/*Pathfinder* v.5. Esta série inclui dados com resolução espacial original de 9 km, reprocessados a 4 km (1985-2001), e dados com resolução espacial original de 4 km (2001-2007). A área de estudo escolhida foi a Plataforma Continental Sudeste do Brasil (PCSE; 22°S a 29°S; 40°W a 50°W), e a série temporal utilizada englobou o período entre 1985 e 2006. No total foram utilizadas 264 imagens para a criação das séries temporais de cada produto, para analisar e comparar a variabilidade estimada dos campos de TSM sobre a área no período estipulado.

A série de médias mensais derivadas dos dados “*all-pixel-SST*” foi submetida a um processo de interpolação estatística, com vistas à remoção de pixels espúrios. O método de interpolação estatística aplicado consistiu no cálculo de uma função de ciclo médio para todos os pontos de grade, e para cada órbita (ascendente e descendente), através do ajuste de uma função senoidal. A função senoidal foi escolhida por representar a grosso modo o ciclo médio de TSM. O critério para remoção de pixels espúrios (com valores muito inferiores a média) baseou-se na análise dos resíduos, ou anomalias, após o ajuste da série original e da função ciclo médio (valor original – valor médio previsto na função ciclo médio). Pixels com módulo do resíduo superiores a uma unidade de desvio padrão foram, então, substituídos pelos valores esperados correspondentes, ou previstos na função ciclo médio. A escolha deste valor de corte baseou-se em critério arbitrário, dado o caráter pioneiro do trabalho, o que recomenda uma abordagem exploratória. A Figura 1 exemplifica o processamento realizado em todos os pontos de grade, e em cada órbita, utilizados na geração dos campos de TSM baseados nos

dados *all-pixel-SST*. Foram detectados sete pontos onde a anomalia foi maior que o seu desvio padrão, com base na diferença entre a série original (Figura 1a) e o ciclo médio do sinal (Figura 1b).

O padrão da variabilidade dos campos de TSM foi determinado através de Análise de Componentes Principais (ACP), aplicada a ambas séries temporais de anomalias mensais de TSM. Após o processamento, foram plotados os mapas das Funções Ortogonais Empíricas (EOFs) correspondentes a 1^a, 2^a e 3^a principais componentes.

Para se quantificarem as perdas na série temporal, decorrentes do procedimento de interpolação estatística, coeficientes de determinação (r^2) foram calculados e os mapas correspondentes plotados, comparando-se os dados originais com os dados processados, em cada órbita. A eficiência do método proposto na recuperação de feições oceanográficas, foi avaliada através de uma comparação entre os campos de TSM médio mensal derivados da interpolação de dados “*all-pixel-SST*”, e do conjunto de dados “*BSST*”, correspondentes ao mês de dezembro de 2004.

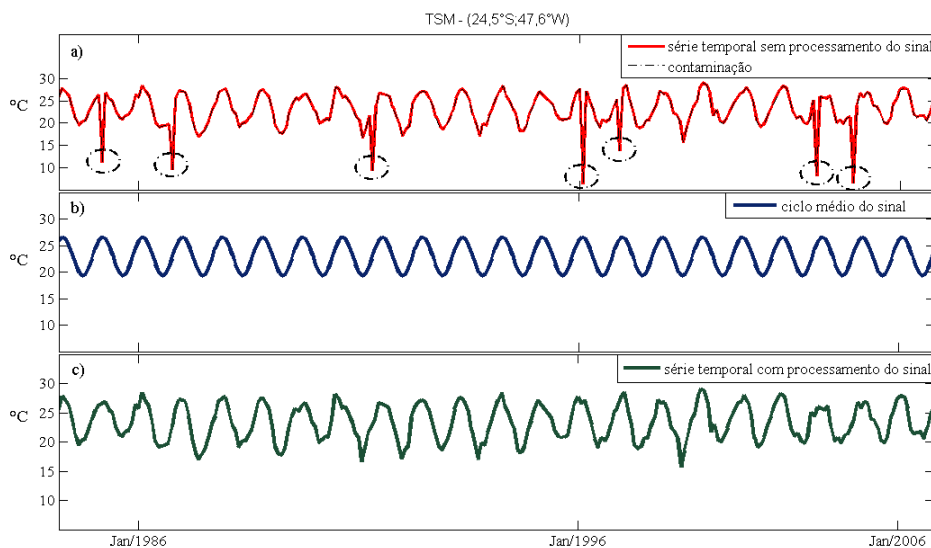


Figura 1 – Método de interpolação proposto para identificação de pixels espúrios e remoção da contaminação do conjunto de medidas *all-pixel-SST*. a – série de dados original, com pixels espúrios identificados; b – função ciclo médio do sinal; c – série processada, com pixels espúrios substituídos.

3. Resultados e Discussão

A Figura 2 apresenta os campos de TSM mensal gerados com dados *all-pixel-SST*, correspondentes a dezembro de 2004 (órbita ascendente apenas), antes e após o procedimento de interpolação temporal. A contaminação por valores espúrios, decorrentes da presença de nuvens e de alta umidade na porção sul da PCSE (24°S a 28°S), e nas regiões próximas à costa (representadas por áreas de cor branca), é claramente visível na Figura 2a. No campo TSM derivado do processo de interpolação (Figura 2b), houve remoção da contaminação observada na região sul, por sobre a plataforma continental e talude. A contaminação em áreas rasas adjacentes à costa, entretanto, manteve-se mesmo após a interpolação estatística, resultando em uma faixa estreita de cor branca estendendo-se ao longo de toda a costa.

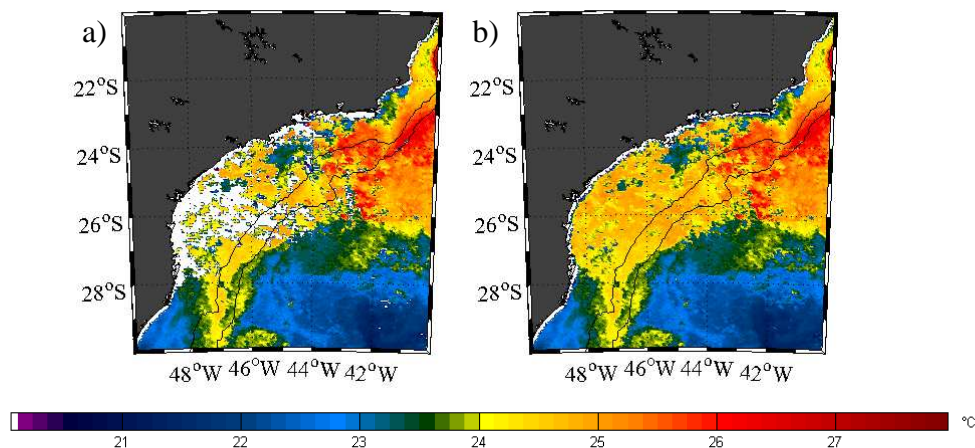
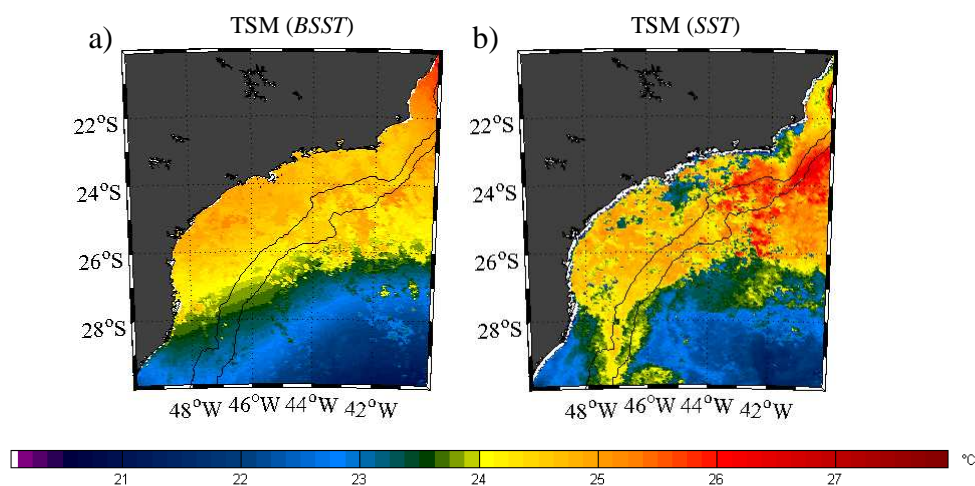


Figura 2 – Imagens AVHRR da PCSE para dezembro de 2004 com o método interpolação proposto para identificação de pixels espúrios e remoção da contaminação. a – série de dados original, com pixels espúrios identificados em branco; b – série processada, com pixels espúrios substituídos.

A circulação oceânica da PCSE é marcada por uma forte influência da localização da frente da Corrente do Brasil (CB). O deslocamento dessa frente tem um forte sinal sazonal que oscila no verão para latitudes menores, e no inverno, para latitudes maiores em gradientes termohalinos horizontais bem definidos (Castro et al., 2006). Por conseguinte, a TSM acompanha o deslocamento da CB, exibindo essa estrutura oceânica como um gradiente térmico horizontal bem definido, com temperaturas decaindo com o aumento da latitude. Os campos de TSM e anomalias de TSM mensal de dezembro de 2004 exemplificam uma situação de verão, onde a frente da CB penetra por toda a região central da PCSE. De modo geral, observa-se que os campos resultantes da interpolação de dados *all-pixel-SST* proporcionam uma melhor visualização de feições oceânicas como o meandramento da CB, ressurgências costeiras em Cabo de São Tomé (na latitude de 20°) e Cabo Frio (na latitude de 22°) e a penetração de águas frias na Costa de Santa Catarina (Figura 3, a e b). Os mapas dos Campos de anomalias (Figura 3, c e d) permitiram ainda a visualização de fenômenos de convergência (subsidiência) e divergência (ressurgência), causados por vórtices de quebra de plataforma, nas regiões de Cabo Frio de Cabo de São Tomé.



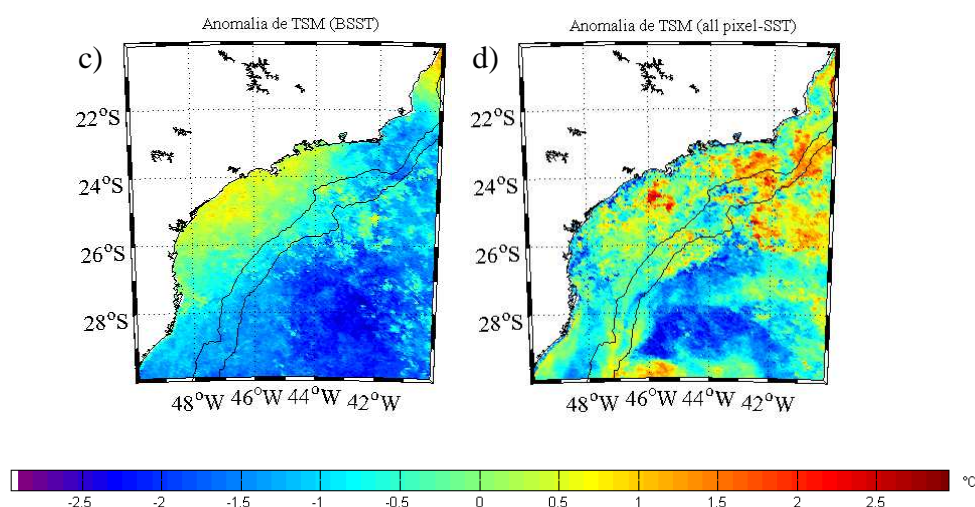


Figura 3 – Imagens AVHRR para dezembro de 2004. a – série de TSM “*Best Sea Surface Temperature (BSST)*” ; b – série processada de TSM “*all-pixel-SST*” (*SST*). c – anomalia de TSM (médias mensais) do tipo *BSST*; d – anomalia de TSM (médias mensais) do tipo *SST*.

Os três primeiros modos, ou EOFs, resultantes da decomposição por Componentes Principais, explicaram 57,45% da variância total contida na séries de TSM derivadas do método de interpolação de dados *all-pixel-SST*. Analogamente, 84,38% da variância total foram explicados pelos três primeiros modos resultantes da ACP aplicada sobre os dados derivados da série *BSST*. Uma rápida comparação visual entre os modos de variabilidade resultantes de ambas as bases de dados mostra algumas diferenças nos padrões de distribuição espacial das amplitudes de TSM. No modo de variabilidade 1 (43,85% para *all-pixel-SST* e 66,90% para *BSST*) observam-se as maiores amplitudes positivas na região interna da PCSE, estendendo-se a offshore, que estão provavelmente associadas a oscilação da frente da CB sobre a plataforma continental. As menores amplitudes foram observadas ao longo das áreas rasas da região costeira, e na região do Cabo de São Tomé. O mapa derivado dos dados *all-pixel-SST* (Figura 4b) mostrou, de forma geral, uma maior discrepância entre as amplitudes extremas, exemplificada por valores menores na região de São Tomé. Observou-se também que a extensa área com valores maiores de amplitude adquiriu um formato mais definido, acompanhando a quebra da plataforma, a partir da altura de Cabo Frio. De acordo com os resultados de Castro et al. (2006), regiões de ressurgência costeira como Cabo Frio, São Tomé e Vitória apresentaram baixas amplitudes no primeiro modo de variação, e altas amplitudes no segundo modo. Por outro lado, uma grande amplitude de variação foi detectada pelos mesmos autores sobre a plataforma continental, tendo, entretanto, ocupado uma posição secundária em termos de escala de variabilidade, sendo associada ao processo de aquecimento e resfriamento superficial sazonal.

O segundo modo de variabilidade (7,74% para *all-pixel-SST* e 10,48% para *BSST*) apresentou um padrão latitudinal na variabilidade da TSM, com amplitudes positivas na porção sul e negativas na porção norte, ao largo da costa do Rio de Janeiro (incluindo Cabo Frio e São Tomé). Neste modo, no mapa correspondente aos dados *all-pixel-SST* (Figura 4d), as áreas de amplitude positiva estenderam-se pela região costeira a norte de Paranaguá, o que pode estar relacionado a penetração de águas mais frias oriundas da Plataforma Argentina durante o inverno (Piola et al. 2001, Palma et al., 2008). Por fim, o terceiro modo de variabilidade (5,85% para *all-pixel-SST* e 6,98% para *BSST*) apresentou padrão relacionado a distância da costa, com amplitudes maiores confinadas na porção interna, média e externa da PCSE, mais particularmente entre o Sul do Rio de Janeiro e Santa Catarina. A diferença mais evidente apresentada pelo dados interpolados restringiu-se a um prolongamento da área

ocupada pelos maiores valores de amplitude ao longo da costa sul de Santa Catarina e Norte do Rio Grande do Sul.

A menor quantidade de explicação nos três primeiros eixos provida pelos campos TSM originados de dados *all-pixel-SST* interpolados está relacionada ao maior detalhamento observado anteriormente. Este detalhamento traduz-se em maior variabilidade de alta frequência, que normalmente é alocada em modos de variabilidade inferiores, misturando-se ao ruído branco (variação não explicada) contido nos dados, e diminuindo relativamente a importância, ou o percentual de variância relacionado a variabilidade em baixas frequências dos dados.

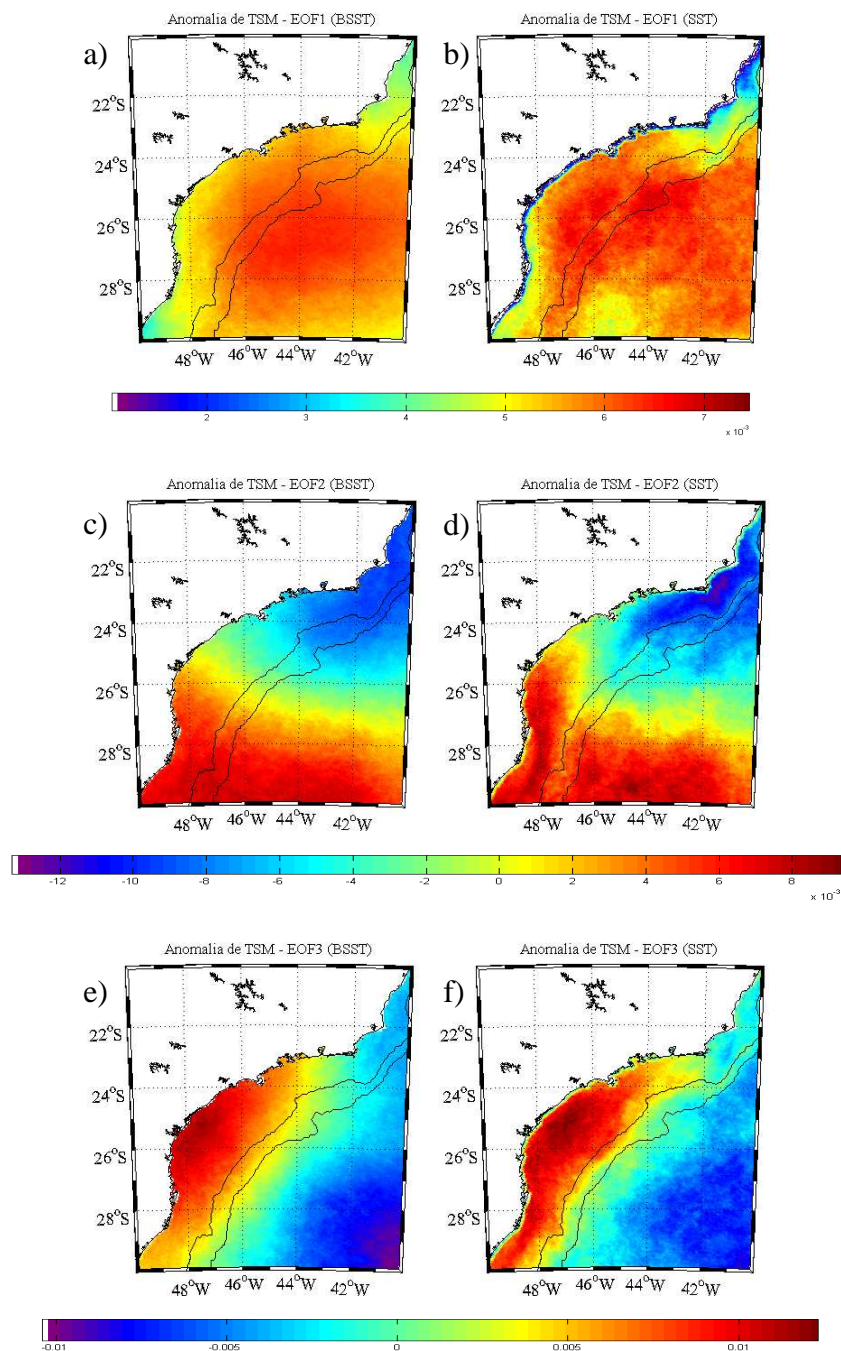


Figura 4 – Principais padrões de variabilidade da anomalia de TSM mensal. **a,c,e** – EOF 1, EOF 2 e EOF 3 sobre a anomalia de TSM (°C) “Best Sea Surface Temperature”(BSST); **b,d,f** – EOF 1, EOF 2 e EOF 3 sobre a anomalia de TSM (°C) “all-pixel-SST” (SST).

Os mapas de coeficientes de determinação (r^2) mostram uma alta correlação entre os dados originais e interpolados, o que indica que a remoção de pixels espúrios não comprometeu, de modo geral, a estrutura de informação contida nos dados originais (Figura 5). Esta correlação se manteve com valores acima de 0,8 nas regiões da plataforma interna, média e externa. Uma extensa região, a sul da PCSE, apresentou valores de correlação acima de 0,9, correspondendo a área ocupada pela Corrente Costeira do Brasil durante o inverno (Souza e Robinson, 2004). Esta mesma região apresentou grande variabilidade nos campos de TSM, decorrente da presença de águas frias originárias da Plataforma continental Argentina em época restrita ao inverno (Muelbert et al., 2008; Möller et al., 2008). Da mesma forma, altos valores de correlação ($>0,9$) foram observados na região de quebra de plataforma na altura de Cabo Frio, também sujeita a grande variabilidade devido a formação constante de vórtices ciclônicos que causam ressurgência de quebra de plataforma (Campos et al., 2000). Não obstante, foram observados baixos valores de r^2 ($<0,75$) nas regiões mais rasas, próximas a costa, em especial na costa do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Estes campos de baixa correlação foram mais intensos nos dados originados em órbita descendente.

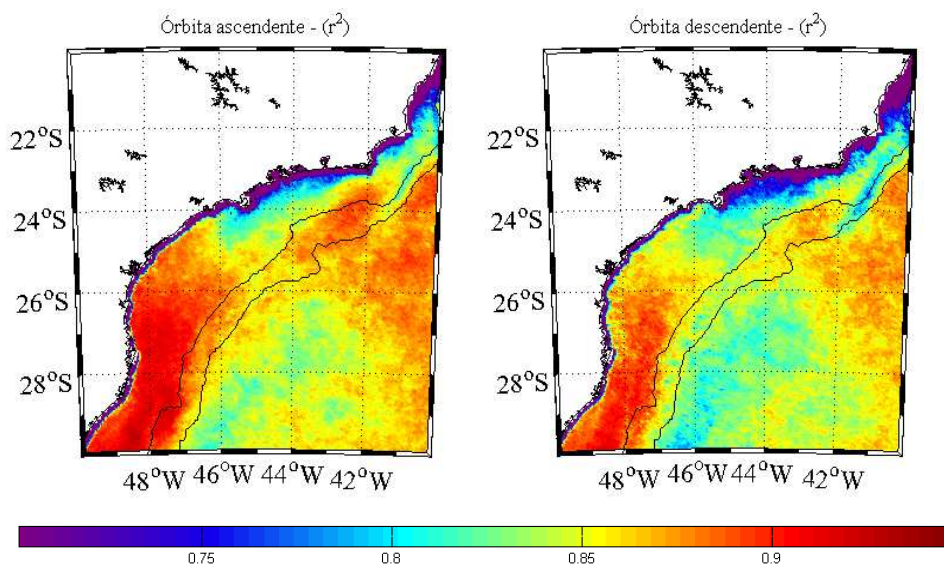


Figura 5 - Mapas de coeficientes de determinação (r^2) para as órbitas ascendentes e descendentes entre a correlação entre a série original de dados de TSM e o sinal processado de SST.

4. Conclusões

A utilização de métodos de interpolação estatística sobre dados de TSM não submetidos a uma seleção por qualidade para eliminação da contaminação por nuvens (all-pixel-SST) apresentou resultados promissores, permitindo uma melhor observação de fenômenos oceânicos, e o estudo de áreas com grande atividade dinâmica, como a região de quebra da plataforma adjacente à Cabo Frio. O método apresenta grande aplicabilidade em estudos em meso e macro-escala.

A análise da variabilidade espaço-temporal dos campos de TSM derivados do processo de interpolação também apresentou uma melhor definição espacial das áreas de maior ou menor amplitude, e uma menor quantidade de explicação nos três primeiros eixos fatoriais. Em contrapartida, as medidas *BSST* proporcionaram, durante o período analisado, uma maior síntese da variabilidade dos campos TSM em um número menor de modos de variação, em detrimento de detalhes dos gradientes térmicos.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro ao primeiro e segundo autor, e ao projeto NOAA Pathfinder pela disponibilização dos dados utilizados neste trabalho.

Referências Bibliográficas

- Campos, E.J.D.; Velhote D.; Silveira I.C.A. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 6, p. 751-754, 2000.
- Castro, B. M.; Lorenzetti, J. A.; Silveira, I. C. A.; Miranda, L. B. Estrutura termohalina e circulação na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). **O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região sudeste-sul do Brasil**. São Paulo: Edusp, p. 11-120, 2006.
- Kilpatrick, K. A.; Podestá, G. P.; Evans, R. Overview of the NOAA/NASA advanced very high resolution radiometer Pathfinder algorithm for sea surface temperature and associated matchup database. **Journal of Geophysical Research**, v. 106 n. C5, p. 9179-9197, 2001.
- Möller, O.O.; Piola, A.R.; Freitas, A.C, Campos, E.J.D. The effects of river discharge and seasonal winds on the shelf off southeastern South America. **Continental Shelf Research**, v. 28, p. 1607–1624, 2008.
- Muelbert, J.H.; Acha, M.; Mianzan, H.; Guerrero, R.; Reta, R.; Braga, E.S. Garcia, V.M.T.; Berasategui, A.; Gomez-Erache, M.; Ramírez, F. Biological, physical and chemical properties at the Subtropical Shelf Front Zone in the SW Atlantic Continental Shelf. **Continental Shelf Research**, v. 28, pp. 1662– 1673, 2008.
- Palma, E.D.; Matano, R.P.; Piola, A.R. A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: stratified ocean response to local and offshore forcing. **Journal of Geophysical Research**, v. 113 (C11010), doi: 10.1029/2007JC004720, 2008.
- Piola, A.R.; Campos, E.J.D.; Möller Jr., O.O.; Charo, M.; Martinez, C.M. Subtropical shelf front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, n. C3, pp. 6566–6578, 2000.
- Souza, R.B e Robinson, I.S. Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. **Continental Shelf Research**, v. 24, p.241–262, 2004.
- Souza, R. B.; Lorenzetti, J. A.; Lucca, E. V. D. Estimativas da temperatura da superfície do mar através do sensoriamento remoto no infravermelho. In: Souza, R. B. (Org.). **Oceanografia por Satélites**. São Paulo: Oficina de textos, p. 102-115, 2005.