

Comparação entre os dados de temperatura da superfície do mar do SODA 2.0.4, 2.2.4 e do AVHRR

Mainara Biazati Gouveia¹
Paula Costa Campos¹
Daniela Faggiani Dias¹
Douglas Francisco Marcolino Gherardi¹
Luciano Ponzi Pezzi¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{mainara, paula.campos, faggiani, douglas, luciano.pezzi}@dsr.inpe.br

Abstract. Data from Simple Ocean Data Assimilation (SODA) data base are used as initial and boundary conditions in hydrodynamical numerical simulations. These data are validated using remote sensing microwave or infrared thermal data from radiometers, such as SST data obtained by the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), from Pathfinder (NOAA). This study reveals the differences between two SODA reanalysis data bases. AVHRR SST data from 1982 to 2007 are used to support these analysis, in the Southwestern Atlantic Shelf (SWAS) region. AVHRR SST data shows the main ocean surface processes which occur in the continental shelf and slope of the study area. Summer SST data (January-March) from SODA v. 2.0.4 better represent SWAS seasonal variability and the Cape Frio (CF) upwelling, while the winter (June to August) northward intrusion of coastal water, reaching Cape Santa Marta (CSM), was better identified in SST data from SODA v. 2.2.4. We emphasize the importance of such differences, which may interfere in numerical simulations performed using SODA reanalysis as initial and boundary conditions.

Keywords: *Simple Ocean Data Assimilation, Best Sea Surface Temperature, Advanced Very High Resolution Radiometer*

1. Introdução

Dados de reanálise são frequentemente utilizados como entrada em simulações numéricas de modelos hidrodinâmicos. Os principais conjuntos de dados de reanálise do *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA) são compostos por dados de temperatura e salinidade, cujo perfil de distribuição está concentrado ao longo de rotas de navegação de hemisfério norte em regiões comercial ou de interesse militar. Os dados de reanálise do SODA são produzidos por um modelo de circulação geral do oceano com base no Programa Numérico Paralelo Oceânico (Smith et al., 1992), com uma média de $0,25^{\circ} \times 0,4^{\circ}$ de resolução horizontal e 40 níveis verticais com espaçamentos de 10 metros. Para resolver o problema do aquecimento diurno, utiliza-se a mistura KPP (Parametrização de perfil-k - Large et al. 1994) para difusão vertical de *momentum*, calor e sal enquanto, para os processos laterais em escalas de subgrade, utiliza-se a mistura bi-harmônica. Para o cálculo do nível do mar é utilizada a equação da continuidade, válida para pequenas regiões do oceano (Dukowicz e Smith, 1994). Os dados diários de velocidade do vento na superfície são fornecidos pelo Centro Europeu de Médio Alcance Previsões Meteorologia (ERA-40) (Simmons e Gibson, 2002), e o fluxo de água doce de superfície é fornecido pela *Global Precipitation Climatology*. A assimilação é realizada a cada dez dias, após uma análise incremental seguindo a metodologia de Bloom et al. (1996), onde é feita uma análise no tempo t , seguida por uma simulação de cinco dias. No quinto dia ocorre uma atualização de temperatura e salinidade. Em seguida, a simulação é

repetida de tempos em tempos com correções gradativas da temperatura e salinidade. Isso mantém uma relação entre a componente geostrófica do fluxo e os campos de pressão e velocidade. Dessa forma, os campos médios são remapeados para um campo uniforme global de grade horizontal com resolução de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ (Carton et al., 2000a, b). Cada arquivo possui variáveis tridimensionais de temperatura, salinidade e componente zonal e meridional da velocidade e variáveis bidimensionais da altura do nível do mar e componentes zonal e meridional da velocidade integrada na vertical.

Apenas a partir de 1981 foi possível fazer a cobertura global contínua de temperatura da superfície dos mar (TSM) por meio de sensores infravermelho, como o *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), a bordo do satélite de órbita polar da NOAA. As observações do nível do mar começaram em 1991, com os satélites altímetros, podendo dessa forma expandir os dados de reanálise do oceano (Carton et al., 2000a; b). O dados de sensoriamento remoto permitem que a TSM seja estimada globalmente e com elevada resolução temporal. A TSM pode ser estimada por radiômetros, que captam informações nas bandas do infravermelho termal ou de micro-ondas do espectro eletromagnético. A TSM geralmente utiliza a faixa espectral entre 10 a 12 micrômetros. Há algum tempo encontra-se disponível um grande número de produtos de TSM obtidos por sensoriamento remoto (DONLON et al., 2002). Um destes produtos é o gerado pelo projeto *Pathfinder* (NOAA), que disponibiliza campos de TSM com 4 km de resolução espacial. O AVHRR utiliza o comprimento de onda de 3,7 micrometros para estimativa de TSM noturna, evitando a interferência da reflexão da radiação solar durante o dia (WALTON et al., 1998).

Neste artigo são destacadas as diferenças entre os dados de reanálise da TSM de duas versões do SODA, descritas por Carton et al. (2000a, b). Estes dados foram também comparados com os dados projeto Pathfinder do AVHRR utilizando uma série temporal entre 1982 e 2007 para a região da Plataforma Continental do Atlântico Sudoeste (PCSE).

2. Metodologia

2.1 Área de Estudo

A região da Plataforma Continental do Sudeste do Brasil (PCSE) desde o Cabo Frio (CF - 23°S), no Rio de Janeiro, até o Cabo de Santa Marta (CSM - 29°S), em Santa Catarina (Fig. 1), apresenta isóbatas dispostas paralelamente à linha de costa e uma topografia suave. Possui um comprimento de 1100 km, uma profundidade média de 70m e a profundidade de quebra de plataforma que varia de 120 a 180 m. Sua largura é bastante variável, sendo mais larga em Santos e mais estreitas em Cabo Frio e no Cabo de Santa Marta (CASTRO et al., 2006).

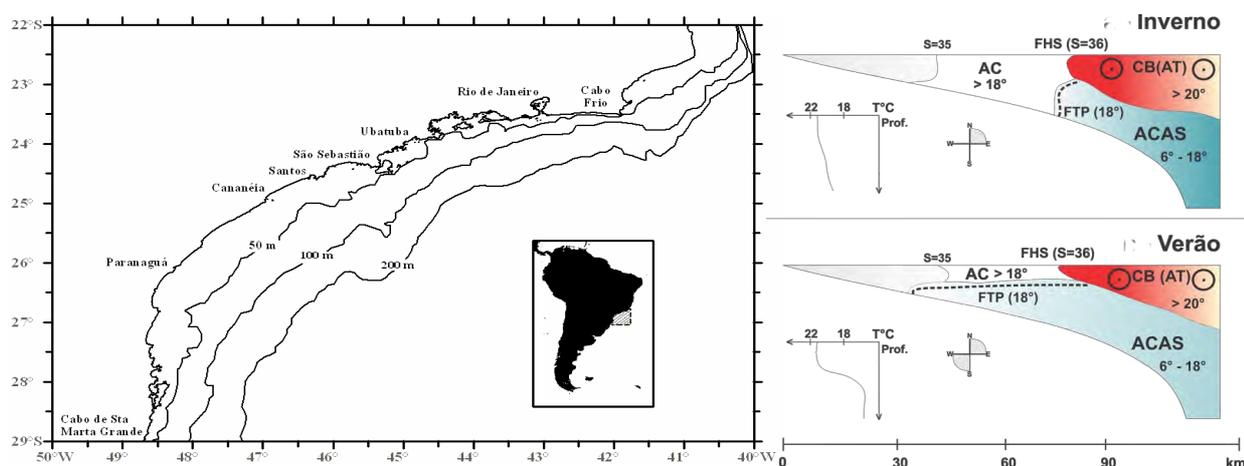


Figura 1. Região da PCSE e isóbatas (esquerda – Dias, 2013); representação esquemática das condições oceanográficas na Plataforma Continental Sudeste do Brasil durante o inverno e o verão (direita - Moraes, 2012).

A distribuição de massas de água na PCSE (Fig. 1) é caracterizada, durante o inverno, pela presença da Água Costeira (AC), que flui para o norte na plataforma interna, além da Água Tropical (AT) e da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), presente na camada abaixo da AT, ambas transportadas para o sul pela Corrente do Brasil. A AT é quente e salina ($T > 20^{\circ}\text{C}$ e $S > 36$), enquanto a ACAS possui baixas temperaturas ($< 20^{\circ}\text{C}$) e salinidades entre 34.6 e 36 (MIRANDA, 1985), resultante de processos de mistura e posterior movimento por densidade de águas da Corrente do Brasil (CB) e da Água Subantártica de Plataforma (ASP), na Região de Confluência Brasil Malvinas (CBM).

Durante o verão (Figura 1.b), os ventos predominantes de nordeste geram um fluxo da AC para o sul e um transporte de Ekman em direção ao oceano, gerando divergência na costa e permitindo a subida da ACAS, que ressurge em regiões de mudança na orientação da linha de costa, como Cabo Frio ($\sim 22^{\circ},5'$) e CSM ($\sim 28,4^{\circ}\text{S}$) (MIRANDA, 1982; CAMPOS et al., 2000). Essas configurações das massa de água estabelecem, em sub superfície, a Frente Térmica Profunda (FTP - CASTRO et al., 2006). Pode-se observar, portanto, a forte variabilidade na circulação e composição de massas de água na PCSE, resultante das mudanças sazonais nos campos de vento da região.

2.2 Materiais e Métodos

Os dados oceânicos provenientes de reanálise do SODA, que são utilizados como condições iniciais e contorno laterais para as bordas abertas da grade em experimentos utilizando o modelo do ROMS, são um produto de assimilação que utiliza dados coletados por satélite, medidas de navios, estações, boias, e resultados de modelos. Neste trabalho foram utilizadas duas versões desse banco de dados: a 2.0.4 e a 2.2.4, disponíveis em http://apdrc.soest.hawaii.edu/dods/public_data/SODA. Essa reanálise inclui um modelo oceânico baseado no *Parallel Ocean Program* (POP). Foram utilizadas saídas médias mensais, disponibilizadas com resolução horizontal uniforme de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ e vertical em 40 níveis de profundidade, do período de janeiro de 1982 a dezembro de 2007. Foram calculadas as médias mensais climatológicas do período para os meses de janeiro a março, correspondentes ao verão, e de junho a agosto, referentes ao inverno. A diferença entre os campos climatológicas das duas versões SODA foi calculada para cada mês.

Para verificar qual das versões melhor representa os campos superficiais de temperatura, foram usados dados de TSM estimados pelo sensor AVHRR, distribuída pelo *Physical Oceanography Distributed Archive Center* (PODAAC), pertencente ao *Jet Propulsion Laboratory* (JPL) da *National Aeronautics Space Administration* (NASA), por meio do sítio <<http://podaac.jpl.nasa.gov/>>. Foi utilizado o produto *Best Sea Surface Temperature* (BSST), que é submetido a um processo de interpolação, onde apenas pixels com menor contaminação por nuvens são considerados. Para esse processo de interpolação espacial é utilizado um algoritmo *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature Version 2* (KILPATRICK et al., 2001). Foram adquiridas 312 imagens mensais com resolução espacial de 4 km, correspondentes ao período da série temporal analisada.

3. Resultados e Discussão

Os campos de janeiro de 1982 das duas versões SODA foram plotados (Figura 2) para fazer uma análise inicial das diferenças apresentadas. É possível verificar que a versão 2.2.4 do SODA não representa corretamente a posição e a distribuição das principais feições de superfície que ocorrem na PCSE, tais como a ressurgência do Cabo Frio, o avanço próximo à costa em direção ao norte de águas frias próximo ao Cabo de Santa Marta (não mostrado), e a posição da CB ao longo da plataforma continental e talude.

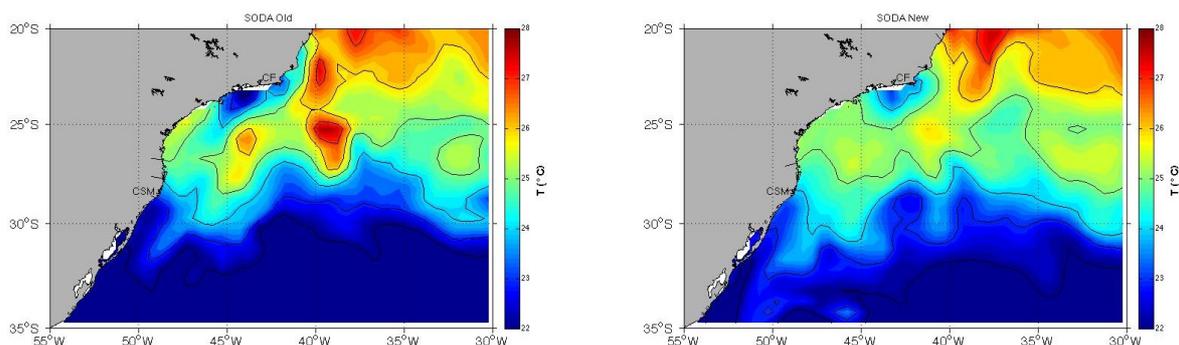


Figura 2. Mapa de média anual de TSM (°C), extraído do SODA 2.0.4 (esquerda) e do SODA 2.2.4 versão beta (direita).

O produto BSST do AVHRR representam as principais características superficiais da circulação da PCSE (Figura 3). Ao analisarmos as médias sazonais de verão nos meses de janeiro, fevereiro e março das duas versões do SODA, é possível notar que os dados do SODA 2.0.4 apresentam uma intensificação da ressurgência de Cabo Frio, quando comparado aos campos de TSM do AVHRR. O fato da incerteza das medidas de satélite próximas à costa por contaminação por nuvens, podem explicar explicar essa diferença de TSM. Além disso, a base de dados utilizada para comparação BSST, utiliza pixels com menos contaminação, o que tende a reduzir os contrastes térmicos e a suavizar os gradientes, diminuindo o poder de detecção de feições oceanográficas caracterizadas por estes gradientes e subestimar a variabilidade espaço-temporal dos campos de TSM (KILPATRICK et al., 2001). Já a versão beta do SODA apresenta uma menor intensidade do núcleo de ressurgência. Desta forma, o SODA 2.0.4 representa melhor a climatologia de verão.

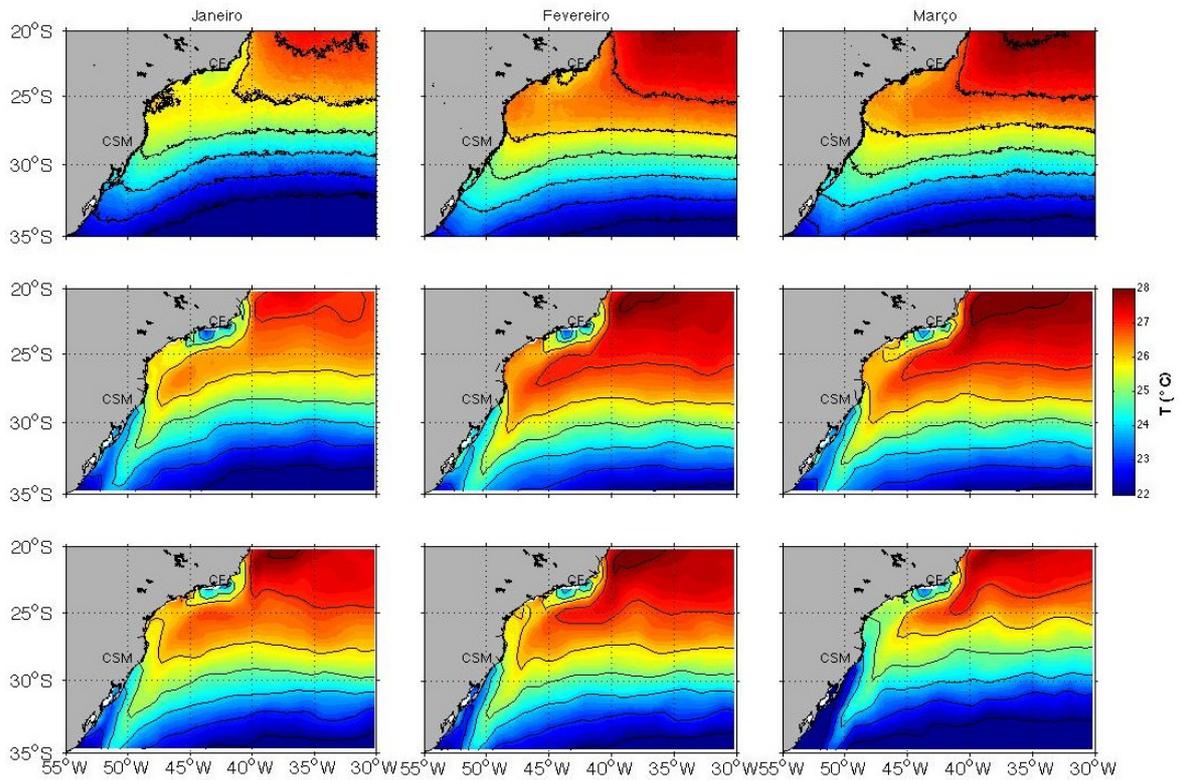


Figura 3. Média sazonal de TSM verão (janeiro a março) extraída do produto BSST do AVHRR (superior), do SODA versão 2.0.4 (centro) e do SODA versão beta 2.2.4 (inferior).

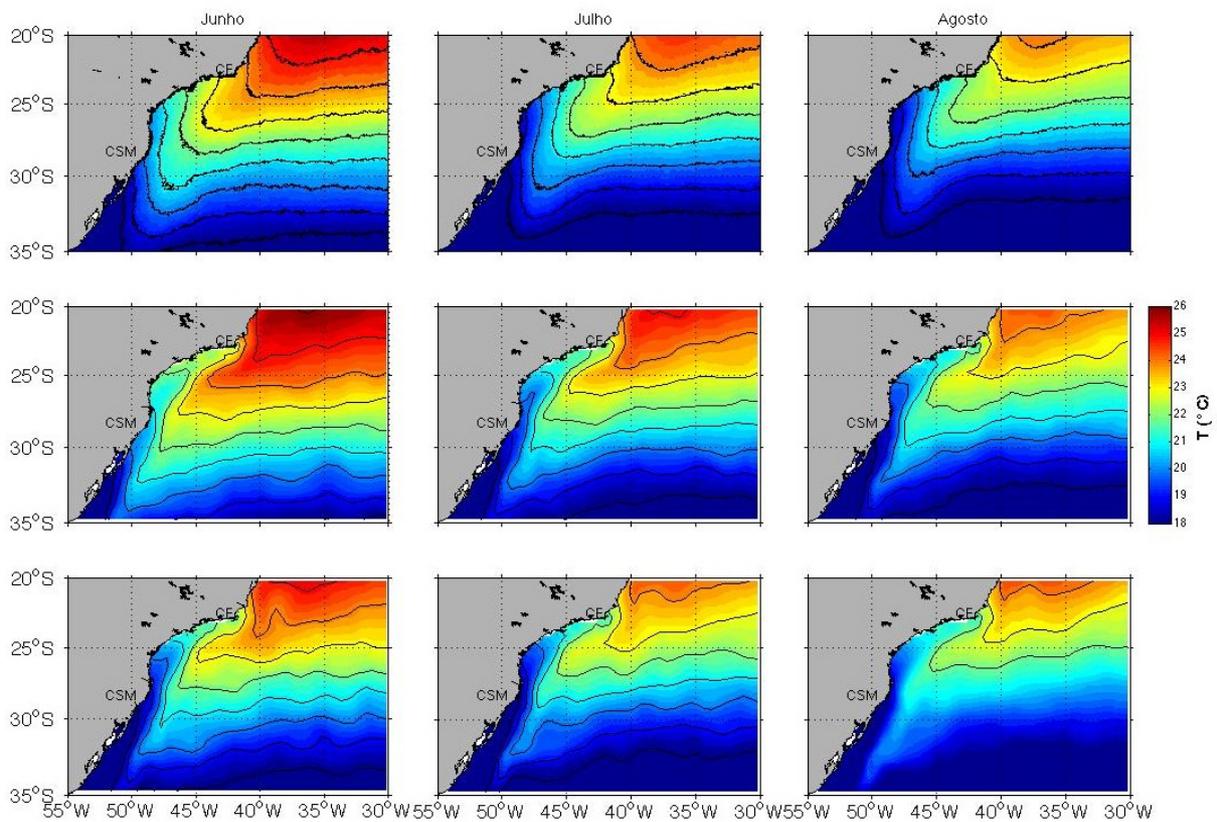


Figura 4. Média sazonal de TSM verão (junho a agosto) extraída do produto BSST do AVHRR (superior), do SODA versão 2.0.4 (centro) e do SODA versão beta 2.2.4 (inferior).

As médias sazonais de inverno do AVHRR (Figura 4) apresentam o fluxo para o norte das águas continentais frias ao norte do Cabo de Santa Marta. Os campos de temperatura superficial da versão 2.0.4 do SODA apresentam uma distribuição bastante similar à do AVHRR. Já o SODA versão 2.2.4 apresenta uma maior intrusão dessas águas frias, principalmente durante o mês de agosto. Também percebe-se diferenças na posição da CB ao longo da plataforma continental e talude.

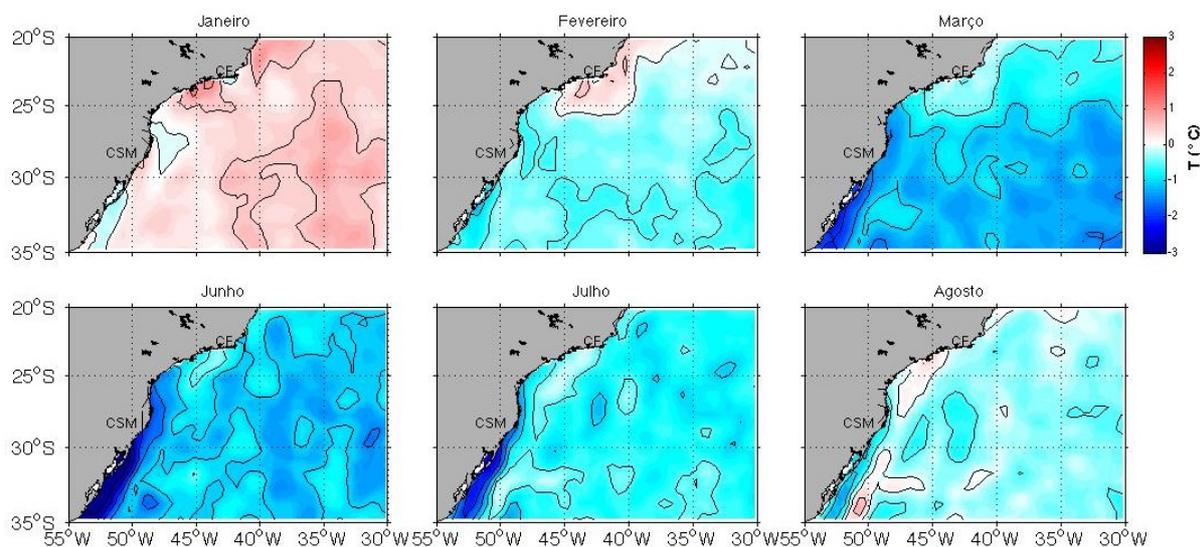


Figura 5. Diferença da média sazonal de verão (acima) e inverno (abaixo) do SODA 2.2.4 e do SODA 2.0.4

Na diferença entre as duas versões do SODA, a beta 2.2.4 e a versão 2.0.4 (Figura 5), é possível observar que o SODA 2.2.4 apresenta temperatura da superfície do mar mais altas principalmente nos meses de janeiro e fevereiro e na região de Cabo de Frio onde encontra-se a ressurgência. No mês de agosto foi o que menos interferiu na média climatológica, com fracas anomalias tanto positivas quanto negativas ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$). Nota-se também que, esta versão possui uma anomalia negativa próximo à costa em direção ao norte de águas intrusas frias próximo ao Cabo de Santa Marta.

4. Conclusões

Foi possível verificar que as médias de TSM dos meses de verão da base do SODA 2.0.4 melhor representaram a variabilidade sazonal na PCSE e a ressurgência de Cabo Frio. Entretanto, sugere-se a comparação dos dados SODA com dados coletados *in situ*, uma vez que a TSM estimada por sensoriamento remoto pode apresentar falhas em regiões costeiras e de fortes gradientes térmicos. As médias sazonais de inverno da versão 2.0.4 apresentam uma maior similaridade aos campos do AVHRR, enquanto a versão 2.2.4 apresenta uma intensificação da corrente costeira para o norte. Em geral, com exceção do mês de janeiro, a versão mais nova do SODA tende a apresentar temperaturas mais baixas, quando comparadas à versão anterior. As diferenças de temperatura entre os bancos de dados de reanálise podem chegar a até 3°C , o que pode gerar diferenças significativas quando tais dados são utilizados em aplicações de modelos numéricos hidrodinâmicos. Uma revalidação de ambas versões do SODA é necessária para verificar qual delas melhor representa a variabilidade oceânica.

Agradecimentos

À CAPES pelo apoio financeiro no meu mestrado.

Referências

- BLOOM, S.C., L.L. TAKACS, A.M. da SILVA, and D. LEDVINA, 1996: Data assimilation using incremental analysis updates. **Monthly Weather Review**, 124, 1256-1271.
- BORZONE, C.A.; PEZZUTO, P.R.; MARONE, E. Oceanographic Characteristics of a Multi-Specific Fishing Ground of the Central South Brazil Bight. **Marine Ecology**, v. 20, n. 2, p. 131 - 146, 1999.
- CAMPOS, E. D. J.; VELHOTE, D.; SILVEIRA, I. C. A. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. **Geophysical Research Letters**, v. 27, p. 751–754, 2000.
- CARTON, J.A., G.A. CHEPURIN, X. CAO, and B.S. GIESE, 2000a: A Simple Ocean Data Assimilation analysis of the global upper ocean 1950-1995, Part 1: methodology, **Journal of Geophysical Research**, 30, 294-309.
- CARTON, J.A., G.A. CHEPURIN, and X. CAO, 2000b: A Simple Ocean Data Assimilation analysis of the global upper ocean 1950-1995 Part 2: results, **Journal of Geophysical Research**, 30, 311-326.
- CARTON, J. A.; GIESE, B. S.; GRODSKY, S. A. Sea level rise and the warming of the oceans in the SODA ocean reanalysis. **Journal of Geophysical Research**, v. 110, art# 10.1029/2004JC002817, 2005.
- CARTON, J. A.; GIESE, B. S. A reanalysis of ocean climate using Simple Ocean Data Assimilation (SODA). **Monthly Weather Review**, v. 136, p. 2999-3017, 2008.
- 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). In: ROSSI-WONGTSCHOWSKI, C. L. B.; MADUREIRA, L. S. (eds.). O ambiente oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil. São Paulo: **Edusp – Editora da Universidade de São Paulo**, 2006. 472 p. ISBN 85-314-0948-9, 2006.
- DONLON, C. J. et al. Toward improved validation of satellite sea surface skin temperature measurements for climate research. **Journal of Climate**, v. 15, Issue 4, p.353-369, 2002
- DUKOWICZ, J., and R. D. SMITH, 1994: Implicit free-surface method for the bryan-cox-semtner ocean model. **J. Geophys. Res.**, 99, 7991–8014.
- DIAS, D. F. Determinação dos padrões de desova e da sobrevivência das larvas da sardinha-verdadeira (*Sardinella brasiliensis*) na plataforma continental sudeste do Brasil, utilizando modelagem baseada em indivíduo. 2013. 92 p. Dissertação de Mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.
- FREITAS, D.M.; MUELBERT J.H. Ichthyoplankton Distribution and Abundance off Southeastern and Southern Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 47, n. 4, p. 601 - 612, 2004.
- 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.
- LARGE WG, McWILLIAMS JC & DONEY SC. Oceanic vertical mixing: A review and a model with a nonlocal boundary layer parameterization. **Rev. Geophys.**, 32: 363-403.1994.
- MIRANDA, L. B. Análise de massas de água da plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) à Ilha de São Sebastião (SP). Tese de livre docência. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo, 194 p, 1982.

MORAES, L . E. de S. Ecologia espacial da sardinha verdadeira (*Sardinella brasiliensis* Steindachner 1879): Padrões variabilidade atmosférica e oceânica no Atlântico Sudoeste. 2012. 286p. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

SMITH, R.D., J.K. DUKOWICZ, and R.C. MALONE, 1992: Parallel ocean general circulation modeling, **Physica D**, 60, 38–61.

SMITH W. H. F., and D. T. SANDWELL, 1997: Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings, **Science**, 277, 1957-1962.

SIIMMONS, A.J., and J.K. GIBSON, 2000: The ERA-40 Project Plan, Series #1, ECMWF, Shinfield Park, Reading, **UK**, 63pp.

WALTON, C. C.; PICHEL, W. G.; SAPPER, J. F. The development and operational application of nonlinear algorithms for the measurement of sea surface temperatures with the NOAA polar-orbiting environmental satellites. **Journal of Geophysical Research**, v. 13, n. C12, p. 27,999-28,012, 2012.
kipatrick