

Distribuição espaço-temporal da temperatura superficial do mar na região oceânica central do Brasil: outono e primavera de 1982-2006

Kaio Calmon Lacerda¹
Larissa Marques Freguete¹
Gregório Luiz Galvão Teixeira²
Julio Tomás Aquije Chacaltana¹

¹ Universidade Federal do Espírito Santo - Departamento de Engenharia Ambiental –
Laboratório de Simulação de Escoamento com Superfície Livre - LABESUL
13416-000 - Goiabeiras - ES, Brasil
{aux.adm.marques;kcalmonlacerda;juliotac}@gmail.com

² Centro de Hidrografia da Marinha – Rede de Modelagem Ocenográfica - REMO
24048-900 - Niterói - RJ, Brasil
gregoriogalvao@gmail.com

Abstract. In this work the spatial and temporal variability of the Sea Surface Temperature (SST) is shown for the Brazilian Central Ocean (12°S–26°S e 30°W–44°W) to the fall and spring seasons. Twenty-five years of monthly SST images from the Pathfinder 5.0 data bank were analyzed. For each year, the seasonal mean for fall (Apr., May., Jun.) and spring (Oct., Nov., Dec.) is made. The result is a data bank of 25 images for each season. For each pixel of the 25 images a frequency histogram is made for a pre-defined range of temperature. Plots of the frequency from these temperatures were made to the study site. In this work the frequency values are defined as “Seasonal Isotherm Frequency” (SIF). The highest values for 24°C and 25°C SIF are found in the fall season at the RJ coast, and the highest values for 26°C and 27°C SIF at ES and BA coast, respectively. In the spring the highest values for 23°C are found at south of the RJ coast and the highest values for the 24°C SIF at RJ coast, while 25°C and 26°C are found at ES and BA coast, respectively. When compared to the position of highest SIF values, it is observed an anomalous position for the isotherm of each year, which is highlighted at El Niño events.

Palavras-chave: digital image processing, SST, isotherm frequency, seasonal variability, processamento digital de imagem, TSM, frequência de isoterma, variabilidade sazonal.

1. Introdução

A Temperatura Superficial do Mar (TSM) é uma variável física importante para diversos tipos de estudos, sendo utilizada para estudos climatológicos de interação oceano-atmosfera, para inferência de campos advectivos de correntes oceânicas e para acompanhamento de fenômenos relacionados com as variabilidades interanuais como o fenômeno ENOS. Há também estudos da TSM voltados para o conhecimento da biogeografia de recursos vivos marinhos, evidenciando uma correlação entre as frentes oceânicas e a abundância de certos tipos de pescados (Laurs *et al.*, 1984; Solanki *et al.*, 2008).

A incidência da radiação solar sobre a superfície do oceano ocasiona um padrão de distribuição zonal da TSM, o qual é modificado por processos dinâmicos, como advecção, ascensão vertical de água ou mistura vertical. Taschetto e Wainer (2002), a partir de campos médios climatológicos de TSM evidenciaram uma curvatura das isotermas no Atlântico Sudoeste devido ao escoamento da Corrente do Brasil (CB) ao longo da costa brasileira. A CB possui direção predominante para sul a partir de cerca de 10°S (Silveira *et al.*, 1994), transportando em superfície (0-200m) a Água Tropical (AT), massa de água quente e salina (T>20°C e S>36,40) (Emilson, 1961). A TSM da região de estudo é caracterizada, climatologicamente, por valores entre um mínimo de 22°C (inverno) e um máximo de 27°C (verão) (Taschetto e Wainer, 2002; Pereira *et al.*, 2005).

O estudo da distribuição espaço-temporal da TSM ao largo da região oceânica central do Brasil (12°S–26°S e 30°W–44°W) permite determinar padrões da distribuição sazonal deste parâmetro. Assim, este estudo visa analisar a distribuição da TSM na região oceânica central do Brasil ao longo dos anos de 1982 a 2006 a partir da Frequência Sazonal de Isotermas (FSI).

2. Metodologia

Os dados mensais de TSM utilizados, referentes aos anos de 1982 a 2006, foram obtidos do banco de dados global Pathfinder versão 5.0 (PV5), que consiste numa reanálise dos dados dos sensores AVHRR a bordo dos satélites NOAA, desenvolvida pela “University of Miami's Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science” (RSMAS) e pelo Centro Nacional de Dados Oceanográficos (NODC) da agência americana NOAA. Os dados utilizados são noturnos e com resolução espacial do pixel de 4 km. A variável TSM adotada neste trabalho é denominada “First-guess SST” ou “Best Sea Surface Temperature” (BSST), e é produzida a partir do algoritmo NLSST, sendo que o algoritmo Pathfinder utiliza a base de dados de TSM interpolado de Reynolds (OISST V2) como uma primeira estimativa (“first-guess”) da TSM, garantindo a eliminação de pixels espúrios, gerados em grande parte devido à contaminação por nuvens (Casey *et al.*, 2010).

Para cada ano os dados foram reestruturados em médias sazonais, de forma que o outono começa em abril e termina no fim de junho e a primavera começa em outubro e termina no fim de dezembro, como realizado por Pereira *et al.* (2005) para gerar as climatologias sazonais de TSM, utilizando uma base de dados obtidos *in situ*. Com o objetivo de retirar ruídos, como os do tipo “salt and pepper”, que dificultam a observação de padrões das isotermas, foi utilizado um filtro de mediana de tamanho 3x3, que tem como característica a conservação das bordas da imagem.

Assim, obteve-se um banco de dados de 25 imagens para cada estação, e a partir desse, foram gerados histogramas de frequência para valores predefinidos de temperatura. Na região de estudo, para cada temperatura fixada são plotados os valores de frequência. A distribuição espacial dos valores de frequência é chamada aqui de “Frequência Sazonal da Isotherma” (FSI). Os valores das isotermas foram apresentados com intervalos de 1°C, e para melhor visualização dos valores de FSI, optou-se por trabalhar com o intervalo de valores em torno de cada TSM de $\pm 0,15^\circ\text{C}$, de forma a manter-se dentro da precisão global do dado Pathfinder, que segundo Kilpatrick *et al.* (2001) é de $0,5^\circ\text{C}$.

3. Resultados e Discussão

Os mapas de frequência sazonal das isotermas (FSI) gerados para as estações de outono e primavera permitiram definir os valores de TSM mais prováveis de ocorrer na região de estudo, em destaque nos mapas de FSI das Figuras 1 e 2, bem como identificar os locais em que estes valores têm mais chance de se posicionar, evidenciados pelos maiores valores de FSI, o que pode estar indicando locais de maior estabilidade térmica.

Durante a estação de outono, Figura 1, foi possível observar valores de FSI de 23°C a 28°C condizentes com a climatologia apresentada por Pereira *et al.* (2005) para a mesma estação, com exceção de 28°C, que ocorre com baixos valores de FSI na região. Durante a Primavera, Figura 2, ocorreram valores de FSI para as TSM entre 22°C e 27°C. Os valores de TSM coincidentes para as duas estações tiveram a posição na primavera sempre deslocada à norte do posicionamento desta na estação de outono, indicando o período definido para primavera como mais frio.

Durante a estação de outono a TSM de 23°C, Figura 1a, ocorre com máximo valor de FSI de 3 isolinhas $\times (\text{pixel} \times \text{ano})^{-1}$, com limite norte no sul do ES, e se prolonga de um local próximo à costa do RJ até o limite sul da área de estudo. Nessa região ocorrem os maiores

valores de FSI da TSM de 24°C, Figura 1b, com valores entre 7 e 12 em torno de 44°O, indicando elevada estabilidade térmica local. Ao norte desta região a TSM possui valores menores de FSI, entre 1 e 2, que ocorre de forma quase meridional até cerca de 24°S, onde assume um padrão zonal, morfologia de entranhamento tipicamente associada à CB. Essa morfologia também é observada para os maiores valores de FSI da TSM de 25°C, Figura 1c, com valores entre 7 e 11 entre Cabo de São Tomé e Cabo Frio e 4 e 8 na região adjacente ao sul do ES. Já a TSM de 26°C, Figura 1d, ocorre com maiores valores de FSI próximos à região norte do ES, com valores de até 12 isolinha x (pixel x ano)⁻¹, de onde a região dos maiores valores de FSI se direciona para sudeste seguido de uma disposição zonal, apresentando morfologia semelhante às duas temperaturas anteriores e ao observado para estes valores na climatologia comparada. Os valores de FSI de 27°C, na Figura 1e, ocorrem bem distribuídos na área de estudo, com valores de FSI até 16 ocorrendo a leste de 36°O e ao norte de 18°S, região de maior estabilidade térmica da estação. A TSM de 28°C, Figura 1f, ocorre com baixos valores de FSI e baixa distribuição espacial, limitada ao norte da área de estudo com um máximo valor de FSI de 6, próximo à costa da BA.

Nos mapas de FSI das temperaturas de 24°C a 26°C para a estação de outono, pode-se observar uma região bem delimitada de valores menores (entre 1 e 2) posicionados ao norte da linha em que se localizam as maiores frequências, essa região é indicada por setas nos mapas correspondentes à essas temperaturas, Figura 1(b,c,d). Os anos de 1982 e 1997 correspondem a estes valores anômalos de FSI, caracterizados pela série temporal do Índice de Oscilação Sul como anos de El Niño. O que indica a influência de fenômenos de larga escala no posicionamento das isoterms da estação de forma condizente com o observado por outros autores a partir do estudo de anomalias de TSM (ATMS) para os mesmos anos e região (Campos *et al.*, 1999; Leite *et al.*, 2011).

Durante a estação de primavera a ocorrência de 22°C, Figura 2a, ocorreu restrita ao sul da região de estudo, próximo à costa do RJ, e com valores pequenos de FSI, entre 1 e 2, correspondentes aos anos de 1984 e 1999. Estes valores também foram observados em operações do REVIZEE, sendo caracterizados como mínimo da região (Valentin *et al.*, 2007).

Os valores de FSI de 23°C, Figura 2b, ocorreram na região sul da área de estudo com valores de até 11 isolinhas x (pixel x ano)⁻¹, próximo à costa do RJ. Apesar da região de máximos FSI não ocorrer na área de estudo, mas sim ao sul desta, valores entre 1 e 9 ocorrem de forma heterogênea para a costa do RJ, e valores mais concentrados ocorrem de forma zonal ao leste de 42°O e ao sul de 24°S. Essa heterogeneidade também ocorre com a FSI de 24°C, Figura 2c, com valores entre 1 e 6 próximo à costa do RJ, apesar de ocorrerem dois núcleos de elevado valores, um ao sul e um ao norte do Cabo de São Tomé, com até 10 isolinhas x (pixel x ano)⁻¹. Esta TSM apresenta um padrão zonal ao norte de 22°S, com valores entre 6 e 10. A elevada heterogeneidade, dos valores de FSI, observada na região próxima à costa do RJ pode estar relacionada com a grande incidência de vórtices e meandros na região, já observados por imagens de satélite por outros autores como Kampel *et al.* (2001).

No mapa da FSI de 25°C, na Figura 2d, observa-se um posicionamento zonal das maiores frequências com valor de FSI de até 13, com um máximo próximo à costa, de até 12 na região do ES, em torno de 19.7°S. Os valores de FSI de 26°C, figura 2e, são limitados à adjacência do estado da Bahia, com uma região de grande estabilidade na porção leste da distribuição, onde ocorrem valores de FSI entre 9 e 15. Nesta mesma região ocorrem os maiores valores da FSI de 27°C, Figura 2f, para a estação de outono, indicando este local como o de maior estabilidade térmica observado para a área de estudo. No outono os maiores valores da FSI de 27°C ocorrem ao norte da área de estudo, mas se dispõem até cerca de 16°S com valores entre 1 e 8.

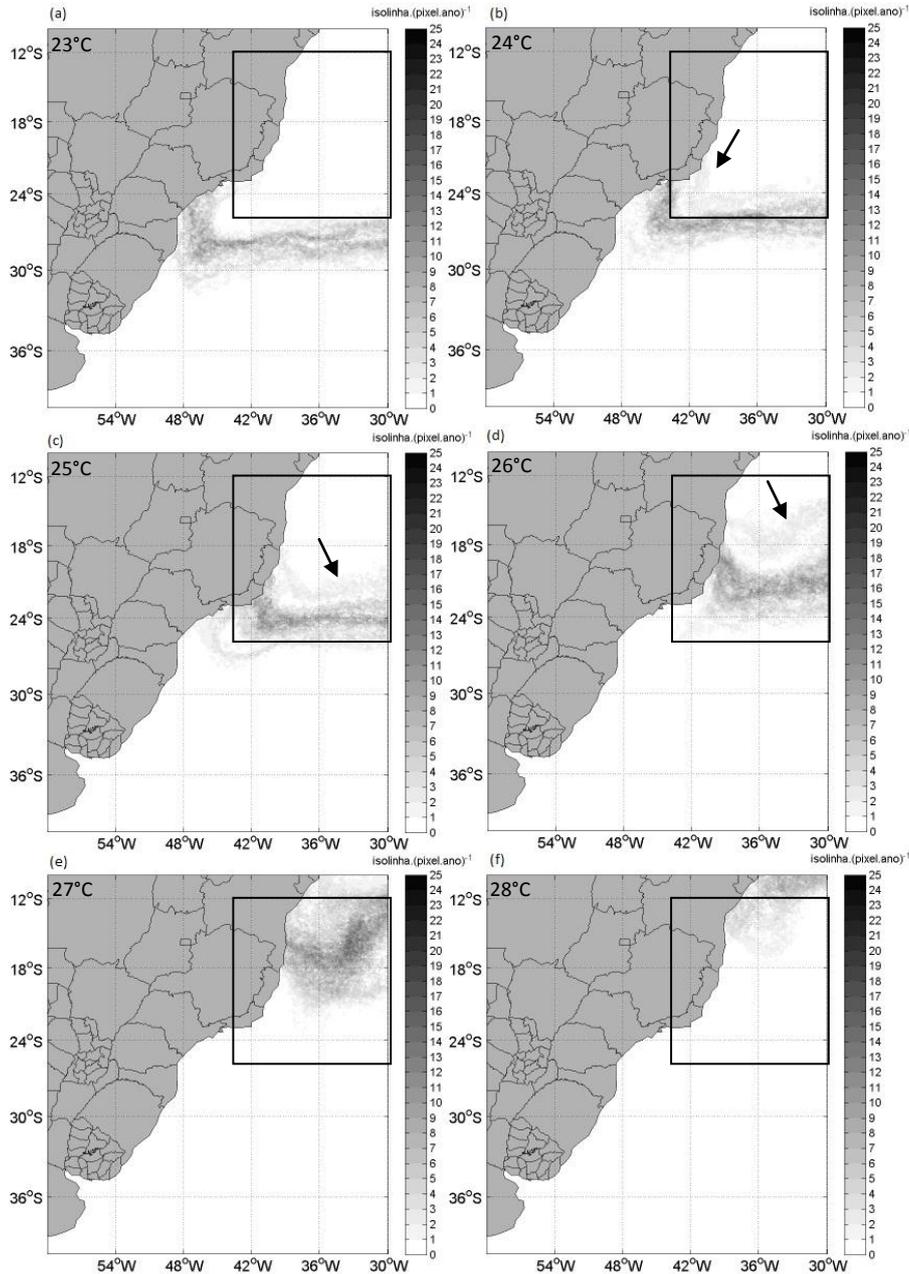


Figura 1 – Mapas de frequência das isotermas de 23°C a 28°C durante o outono, ordenadas em ordem alfabética. Área de estudo em destaque.

Na primavera não houve ocorrências anômalas destacadas como observado durante o outono. Ao norte da linha dos maiores valores de frequência, observa-se como posicionamento padrão para as temperaturas de 23°C a 26°C, na Figura 2 (b-e), o posicionamento da isoterma do ano 1992, que pelo IOS corresponde a um ano de El Niño. Este posicionamento evidenciado na Figura 2d. O que é condizente com o observado para a região a partir de ATSM por Campos *et al.*(1999) e Leite *et al.*(2011).

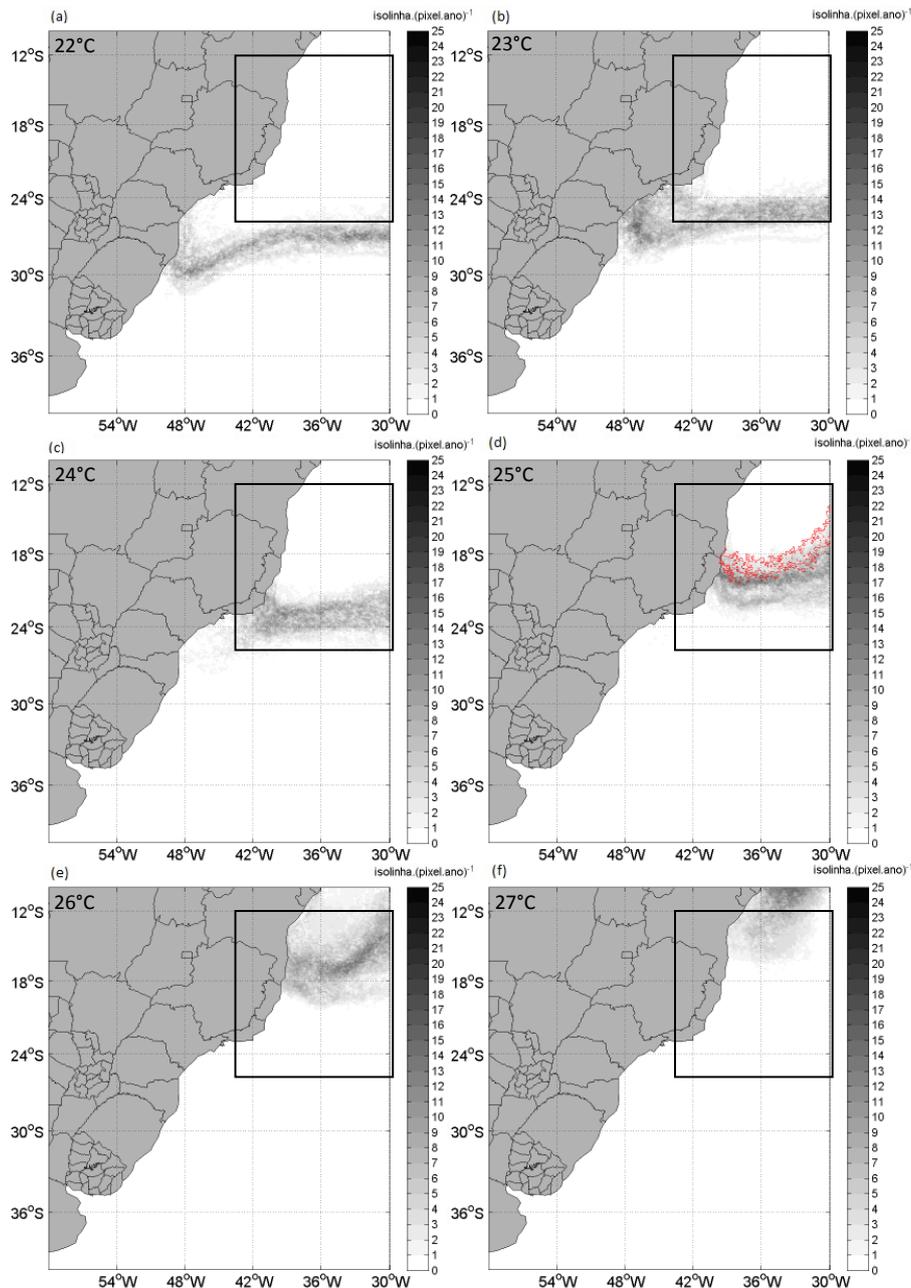


Figura 2 – Mapas de frequência das isotermas de 22°C a 27°C durante a primavera, ordenadas em ordem alfabética. Área de estudo em destaque.

4. Conclusões

O estudo da variação espaço-temporal da TSM na região oceânica central do Brasil a partir da FSI permitiu identificar regiões oceânicas que apresentam maior chance de ocorrerem as frentes de TSM durante a estação de outono e primavera. Durante o outono os maiores valores da FSI de 24°C e 25°C ocorrem adjacentes à costa do RJ, e os de 26°C e 27°C adjacentes à costa do ES e da BA, respectivamente. Já na primavera, os maiores valores da FSI de 23°C ocorreram próximo ao Sul da costa do RJ. Os maiores valores da FSI de 24°C ocorreram adjacentes ao RJ, enquanto os maiores valores da FSI de 25°C e 26°C estiveram adjacentes ao ES e BA, respectivamente.

As maiores variabilidades espaciais no posicionamento de isotermas em relação às regiões de maiores valores de FSI ocorreram associadas a anos de El Niño, como é observado na estação de outono para os anos de 1982 e 1997 e na primavera para o ano de 1992.

Agradecimentos

Agradeço a grande contribuição inicial dada pelo professor Dr. Carlos Alexandre Domingos Lentini do Grupo de Oceanografia Tropical (GOAT) da Universidade Federal da Bahia. E ao Oceanógrafo e colega de laboratório Leonardo Carvalho de Jesus, pelas contribuições técnicas.

Referências Bibliográficas

Campos, E.J.D; Lentini, C.A.D; Miller, J.L; Piola, A. R. Interannual variability of the sea surface temperature in the South Brazil Bight. **Geophysical Research Letters**, v. 26, n. 14, p. 2061- 2064, 1999.

Casey, K.S.; Brandon, T.B.; Cornillon, P.; Evans, R. The Past, Present and Future of the AVHRR Pathfinder SST Program. In: Barale, V.; Gower, J. F. R.; Alberotanza, L. (Eds.), **Oceanography from Space: Revisited**. Springer, 2010, p.323-341.

Emilson I. The shelf and coastal waters off Southern Brazil. **Bolm Inst. Oceanogr.**, São Paulo, v.17, n.2, p. 101-112, 1961.

Kampel, M.; Lorenzetti, J. A.; Gaeta, S. A.; Araujo, C. E. S; Assireu, A. T. (2001), Use of satellite data for studying and monitoring the southeast coast of Brazil. **Revista Selper**. 17, 1, 24-30.

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.

Laur, R. M.; Fiedler, P. C.; Montgomery, D. R. Albacore tuna catch distributions relative to environmental features observed from satellites. **Deep-Sea Research**, v. 31, n. 9, p. 1085-1089, 1984.

Leite, M. D. A.; Teixeira, G. L. G.; Chacaltana, J. T. A.; Silva, M. L. R. F. Descrição das variabilidades nas anomalias de TSM de 1985 a 2005 para a porção noroeste do Atlântico Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011. Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 7160 – 7167. On-line. ISBN 978851700031-7. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2011/11.22.12.49/doc/7160-7167.pdf>>. Acesso em 16 jun.

Pereira, C. S.; Santo, C. M.; Giarolla, E. An in situ-based climatology of the Sea Surface Temperature field for the Southwestern Atlantic Ocean and its anomalies in ENSO years. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.3, p. 333-346, 2005.

Solanki, H. U.; Mankodi, P. C.; Dwivedi, R. M.; Nayak, S. R. Satellite observations of main oceanographic processes to identify ecological associations in the Northern Arabian Sea for fishery resources exploration. **Hydrobiologia**, v. 612, p. 269-279, 2008.

Taschetto, A. S.; Wainer, I. Estudo Climatológico dos Parâmetros de Superfície Marinha no Atlântico Sudoeste. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.17, n.2, p.229-242, 2002.

Valentin, J. L.; Paranhos R.; Faro, B.C.M.T.; González, A.S.M. Massas D'Água. In: Valentin, J. L. (Ed.), **Características hidrobiológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ)**. Brasília: MMA, 2007, p.21-29.