



# Análise da Variabilidade Superficial de Temperatura e Altimetria no Oceano Atlântico Sudoeste durante o Ano de 2012

Analysis of surface variability of temperature and altimetry in the  
Southwest Atlantic Ocean during the year of 2012

*Luis Felipe Mendonça*<sup>1</sup>  
*Ronald Buss de Souza*<sup>2</sup>  
*Rafael Nascimento Reis*<sup>3</sup>  
*Rita de Cássia Marques Alves*<sup>4</sup>

Recebido em agosto de 2017.  
Aprovado em janeiro de 2018.

## RESUMO

A plataforma continental do sul do Brasil (PCSB) compreende uma importante região econômica do litoral brasileiro. Formada a partir de uma margem continental passiva, apresenta uma baixa declividade com massas d'água e processos dinâmicos com um comportamento sazonal. Este padrão sazonal imprime fortes efeitos no ecossistema e clima da região. No presente trabalho utilizamos o modelo regional oceânico (*ROMS*) para estudar a distribuição superficial e a variabilidade das massas d'água na PCSB, durante o ano de 2012. Os resultados do modelo foram comparados com os dados de sensoriamento remoto de temperatura superficial do mar (TSM) e altimetria. O modelo foi capaz de reproduzir as principais características de temperatura e salinidade das massas d'água que dominam a PCSB. Identificamos os principais gradientes termohalinos próximo à região da Confluência Brasil-Malvinas, sem identificar gradientes superficiais associados à região da Frente Subtropical de Plataforma. Como consequência da mistura e da oscilação sazonal das águas, a estabilidade da coluna de água dentro da PCSB também muda sazonalmente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto, Oceanografia física, Plataforma Continental Sul Brasileira, Massas d'água.

<sup>1</sup> Universidade Federal da Bahia, Instituto de Geociências, UFBA, Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina, Bahia, Brasil. E-mail: lfelipem@msn.com

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, Av. Roraima, 1000, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: ronald.buss@crs.inpe.br

<sup>3,4</sup> Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: rafael\_cgb@hotmail.com<sup>3</sup>; rita.cma@terra.com.br<sup>4</sup>

O fluxo da Corrente Costeira do Brasil (CCB) para norte, transportando as águas da Pluma do Rio da Prata e da Água Subantártica de Plataforma durante o inverno, concordam com as descrições já realizadas. Mapas sazonais demonstram o comportamento da Corrente do Brasil (CB) e enfatizaram sua importância no fluxo costeiro médio sobre a plataforma continental ao longo do ano. Assim, nossos resultados sugerem que a implementação de um modelo regional oceânico, para a região PCSB, é fundamental para o estudo oceanográfico da região, em séries temporais longas.

## **ABSTRACT**

The Southern Brazil Continental Shelf (SBCS) comprises an important economic region of the Brazilian coast. Formed from a passive continental margin, the SBCS presents a low slope with sazonal water masses and dynamic processes. This seasonal pattern has strong effects on the region's ecosystem and climate. This paper use the Regional Ocean Model System (*ROMS*) to study the surface distribution and variability of water masses in the SBCS during the year 2012. The model results were compared with remote sensing data of sea surface temperature (SST) and altimetry. The model was able to reproduce the main characteristics termohaline of the water masses that dominate the SBCS and the adjacent region. We identified the main thermohaline gradients near the Brazil-Malvinas Confluence region, but didn't identify surface gradients associated with the Sub-tropical Shelf Front (SBSF). Because of the mixing and seasonal oscillation of the waters masses, the stability of the vertical column within the SBCS also changes seasonally. The flow of the Brazilian Coastal Current (BCC) to the north, transporting the waters of the Plate Plume River (PPR) and Subantarctic Shelf Water (SASW) during the winter, agrees with the descriptions of this phenomenon. Surface seasonal maps demonstrate the behavior of the Brazilian Current (CB) and emphasized the importance of this current in average coastal flow on the continental shelf in the year. Thus, our results suggest that the implementation of a regional oceanic model, for the SBCS region, is fundamental for the oceanographic study of region in long time series.

**KEYWORDS:** Remote sensing, Oceanography, South brazilian continental shelf, Water masses.

\* \* \*

## **Introdução**

A plataforma continental sul brasileira (PCSB) consiste em uma importante região econômica e ecológica do litoral do Brasil (HAIMOVICI, 1997). A circulação oceânica é caracterizada por correntes de contorno oeste, com fluxos intensos, estreitos e bem definidos ao longo da margem

continental. A Corrente do Brasil (CB) tem origem próximo a 10°S, a partir da Corrente Sul Equatorial (CSE) (WINDERS *et al.*, 2000).

Com sentido inverso a CB, a Corrente das Malvinas (CM) é formada a partir de um braço da Corrente Circumpolar Antártica (CCA), até aproximadamente 38°S (MATANO *et al.*, 2010), onde confronta-se com a Corrente do Brasil, na chamada Confluência Brasil-Malvinas (CBM).

Na PCSB a circulação é regida predominantemente por ação local dos ventos, enquanto que as regiões médias e externas estão sob maior influência da CB (PALMA e MATANO, 2009; MATANO *et al.*, 2010). A circulação na plataforma consiste em um fluxo de águas quentes e salinas vindas do norte com a Água Subtropical de Plataforma (ASTP), constantemente alimentada pela CB (PALMA *et al.*, 2008). Durante o outono e inverno, existe o transporte de águas frias e de menor salinidade vindas do sul, carregando a Água Subantártica de Plataforma (ASAP). O encontro destas águas, próximo a latitude de 33°S, forma a Frente Subtropical de Plataforma (FSTP), que divide a plataforma em um lado norte, quente e salino com águas tropicais, e um lado sul frio e pouco salino de origem subantártica (PIOLA *et al.*, 2000).

Durante os meses de inverno, a Corrente Costeira de Brasil (CCB) transporta para N-NE, sobre a PCSB, uma mistura da ASAP e PRP em profundidades de até 200m. Trabalhos recentes de Guerrero *et al.* (2014), Matano *et al.* (2014) e Mendonça *et al.* (2017), mostram a variabilidade espaço temporal das principais massas d'água na PCSB e uma acentuada sazonalidade salina na plataforma continental, associada diretamente às plumas do Rio da Prata e sistema Patos/Mirim.

Amplamente utilizado em estudos oceanográficos, o sensoriamento remoto é capaz de compor séries temporais com consistência espacial por longos períodos de tempo (SOUZA, 2009). Devido ao alto custo e a dificuldade de aquisição de dados *in situ*, dados de sensoriamento remoto são uma opção viável e de fácil acesso (ROBINSON *et al.*, 2004). Mesmo representando uma fina camada do oceano, ela possui papel fundamental na validação de modelos oceânicos e atmosféricos. Uma vez que nesta fina interface encontram-se

diversos processos de troca de calor e gases (SOUZA *et al.*, 2009).

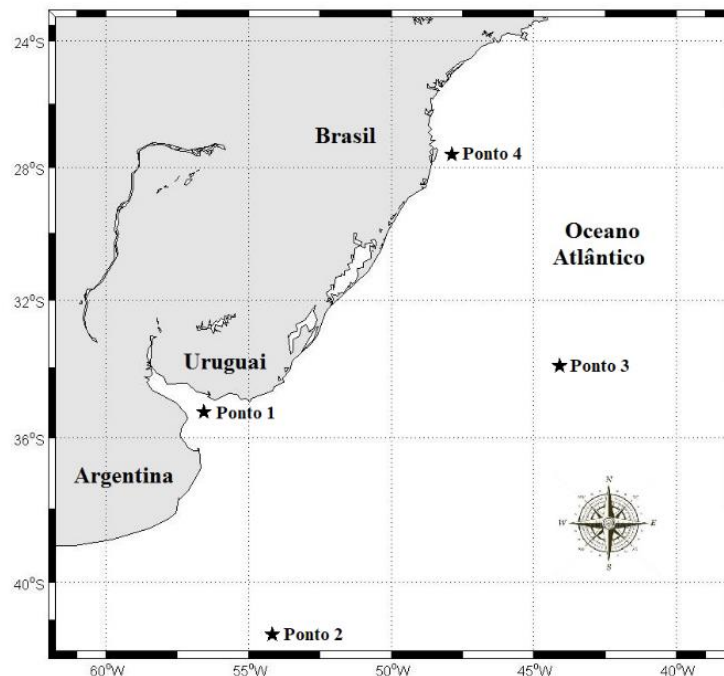
Conhecida a importância dos processos ecológicos na região da PCSB, a análise comparativa da variabilidade temporal de TSM e altimetria entre sensores remotos e um modelo numérico oceânico, representa uma importante fonte para a caracterização desta região. Este trabalho apresenta um estudo da variabilidade anual de TSM e altimetria superficiais no Oceano Atlântico Sudoeste, durante o ano de 2012. A partir da comparação entre os dados de saída do modelo regional oceânico (*ROMS*) com dados de sensoriamento remoto. Buscamos complementar os resultados apresentados por Mendonça *et al.* (2017), que utilizou as mesmas saídas do modelo para caracterizar as principais correntes e massas d'água existentes na região. Assim como, a validação das saídas do modelo com dados obtidos *in situ* e por séries históricas.

## 2 Metodologia

Este manuscrito consiste em um conjunto de resultados gerados a partir do estudo dos fluxos de calor, momentum e CO<sub>2</sub> na interface oceano-atmosfera do Oceano Atlântico Sul (*Atlantic Ocean Carbon Experiment* (ACEx) e Sistema Integrado de Monitoramento do Tempo, do Clima e do Oceano (SIMTECO), que no ano 2012 e teve o propósito de descrever a variabilidade dos processos de interação oceano-atmosfera-zona costeira no litoral sul do Brasil. Farias (2014); Pezzi *et al.* (2016) e Mendonça *et al.* (2017) apresentam os principais resultados gerados através do cruzeiro oceanográfico ACEx/SIMTECO. Foi utilizado o modelo oceânico de superfície livre *Regional Ocean Model System (ROMS)* (SHCHEPETKIN e MCWILLIAMS, 2009), para simular o ciclo anual oceânico do ano de 2012. O *ROMS* utiliza diferenças finitas e resolve as equações tridimensionais de Reynolds-Medium e Navier-Stokes com a aproximação hidrostática de Boussinesq. O modelo tem uma grade Arakawa-C e uma máscara para delimitação do litoral, com um domínio espacial de grade definido conforme a

Figura 1, resolução horizontal de  $1/9^\circ$  ( $\sim 12,3$  km) e 21 níveis verticais.

Fig. 1 – Área de estudo representada pela grade utilizada para as simulações numéricas. Pontos controle de análise da variabilidade de temperatura e altimetria.



Fonte: Elaborado pelo(s) autor(es).

As condições iniciais do modelo oceânico foram obtidas do *Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (COADS)* (SLUTZ *et al.*, 1985). As condições de contorno e forçantes atmosféricas são do *Climate Forecast System Version 2 (CFSv2)* do *National Center for Environmental Prediction (NCEP)* (SAHA *et al.*, 2014), forçadas a cada 6 horas. O oceano foi definido com contornos abertos, exceto no lado ocidental, com dados de resolução horizontal de  $1^\circ$  para o oceano e  $1/4^\circ$  de resolução para os campos atmosféricos. Os dados de descarga do Rio da Prata foram disponibilizados pelo Serviço Hidrográfico da Marinha Argentina (A. Piola, comunicação pessoal 2015).

As saídas diárias de TSM e altimetria do modelo foram comparadas com produtos de análise global do *Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST)* versão 2 (REYNOLDS *et al.*, 2007) da *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* e *Global Ocean Multi Altimeter*

*Satellite Gridded Sea Surface Heights do Copernicus Marine Environment Monitoring Service* (CMEMS). Foram extraídas 366 matrizes globais de cada banco de dado, referentes ao ano de 2012, posteriormente interpoladas para tamanhos de grade similares as do *ROMS*. Após, foram geradas as análises estatísticas de viés (*bias*), Raiz do Erro Quadrático Médio (*Root Mean Square Error* - RMSE) e destreza do modelo (*Skill*). Por fim, os dados são transformados em períodos médios sazonais de verão, outono, inverno e primavera.

O cálculo de *Skill* foi realizado através da comparação entre o dado modelado ( $X_{mod}$ ) e o do sensor remoto ( $X_{sr}$ ). Descrito pela equação Eq. (1), valores próximos a 1 indicam uma maior habilidade do modelo em relação ao dado de satélite, enquanto que valores próximos a 0 apontam o inverso (HAIDVOGEL *et al.*, 2008).

$$Skill = 1 - \frac{\sum |X_{mod} - X_{sat}|^2}{\sum (|X_{mod} - X_{sat\text{médio}}| + |X_{sat} - X_{sat\text{médio}}|)^2} \quad (1)$$

Visando ampliar os resultados expostos por Mendonça *et al.* (2017), foi realizada a análise comparativa de valores modelados de TSM e altimetria, em 4 pontos específicos, com dados diários de sensoriamento remoto no ano de 2012. Os pontos foram escolhidos com distinta caracterização termohalina dentro da grade de estudo, para comparação entre valores modelados e os observados pelos sensores remotos. O ponto 1 está localizado próximo a foz do rio da Prata (36°S – 56°W); esta região possui os menores valores de salinidade no oceano atlântico sudoeste e uma variação termohalina tipicamente sazonal (SUNYÉ e SERVAIN, 1998). O ponto 2 está localizado próximo a região da CBM (39°S - 54°W), área de maior gradiente térmico regional e principal mecanismo formador de meandros e vórtices no oceano atlântico sudoeste (TOKINAGA *et al.*, 2005). O ponto 3 (33°S - 44°W), está situado sobre uma região de oceano aberto, sob menor influência de correntes,

ressurgência ou aporte continental. O ponto 4 está sobre a plataforma continental do estado de Santa Catarina (27°S - 48°W), sob influência direta da ASTP e Água Tropical (AT) transportada pela CB.

### 3 Resultados

As massas d'água presentes na região de estudo, nos períodos de invernos e verão, foram representadas satisfatoriamente pelo modelo, reproduzindo as principais características termohalinas das águas que dominam a PCSB e oceano adjacente.

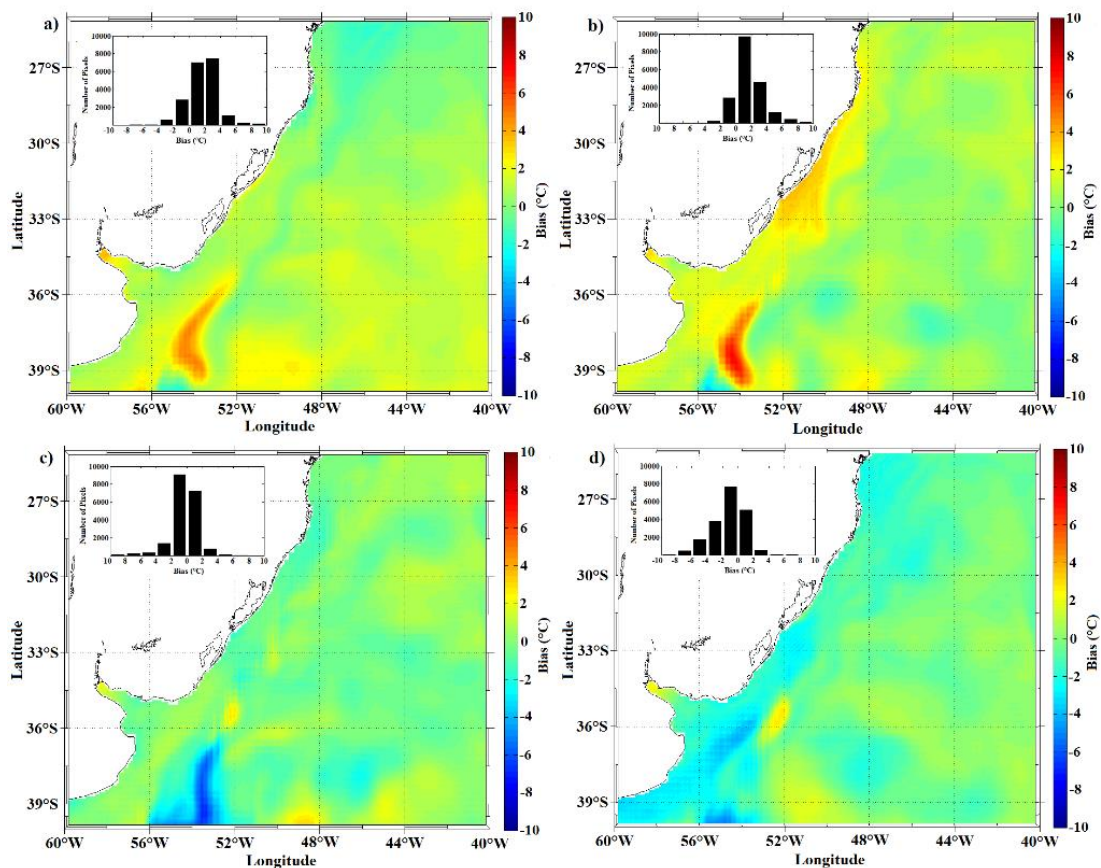
Os valores de *bias* entre os dados AVHRR-OI e as saídas do modelo apresentaram um caráter sazonal marcante. Valores máximos foram encontrados durante as 4 estações do ano sobre a região da Confluência Brasil-Malvinas. Conforme Souza e Robinson (2004), isto ocorre devido aos fortes gradientes térmicos entre as massas d'água transportadas pela e CB e CM. Distúrbios termohalinos e altimétricos associados às regiões de gradiente em modelos regionais são comuns. A integração do modelo sem uma climatologia ativa, pode induzir instabilidades de mesoescala e sub-mesoescala, especialmente em regiões de forte gradiente termohalino (ZAVALA *et al.*, 2014). Isto pode afetar a localização destas frentes, exigindo correções ou incrementos de sistemas de assimilação.

Donlon *et al.* (2012) mostraram que o modelo *Operational SST and Sea Ice Analysis* (OSTIA) possui uma acurácia média em relação a dados remotos de  $\sim 0,57^{\circ}\text{C}$ . Nossos resultados indicaram um *bias* sazonal médio variando de  $-2$  a  $2^{\circ}\text{C}$  em toda a área de estudo. Mendonça *et al.* (2017) mostrou que a comparação dos dados diários modelados com dados *in situ* apresentou diferenças inferiores a  $0,5^{\circ}\text{C}$ , em junho de 2012. Por se tratar de uma análise comparativa entre valores sazonais médios, os valores de *bias* mostram que o modelo reproduzir as condições de TSM da região. Dufois *et al.* (2012) apresentam valores sazonais de *bias* entre o *ROMS* e AVHRR, para as regiões da Califórnia, Canarias, Humboldt e Benguela, superiores a  $2,5^{\circ}\text{C}$ . Durante

os períodos de verão e outono (Figuras 2a e 2b), os valores de TSM modelados sobre a PCSB são, em geral, 0,5 a 3°C inferiores as observadas pelo sensor remoto. Soares (2014) estimou valores médios de *bias* superiores entre o *ROMS* e o AVHRR, com um deslocamento anômalo da CBM para o norte. Durante os períodos de inverno e primavera (Figura 2c e 2d), as variações negativas e próximas a zero indicam uma estimativa superior do modelo em relação ao sensor remoto.

Durante os 4 períodos, os maiores gradientes térmicos foram encontrados sobre a CBM. Na região da FSTP os valores de *bias* são próximos a zero e acompanham os demais valores de plataforma. Segundo Donlon *et al.* (2012), a inexistência de gradientes térmicos superficiais contribui para o melhor desempenho do modelo e um respectivo valor de *bias* reduzido.

Fig. 2 – *Bias* sazonal de TSM entre os dados do AVHRR-OI e o modelo numérico *ROMS*, para os períodos de verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) de 2012.



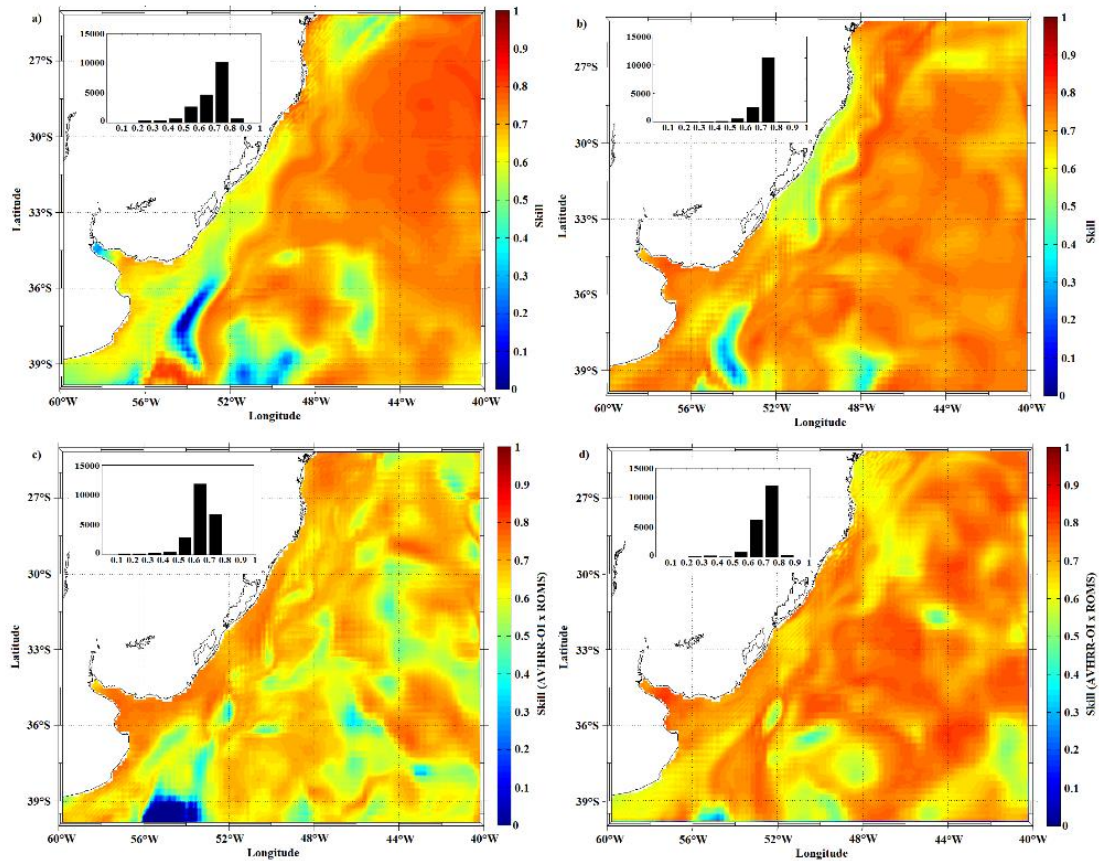
Fonte: Elaborado pelo(s) autor(es).



Durante as 4 estações do ano, os valores de RMSE em oceano aberto, variaram entre 0 e 1,5 °C e indicam um reduzido erro associado nesta região. Os maiores valores de RMSE estão sobre a CBM e chegam a 5°C, enquanto na PCSB os valores da RMSE apresentaram um erro mais acentuado durante os períodos de outono e primavera. O núcleo da CB e sua sinuosidade ao longo da quebra da plataforma, ficam marcados por valores de RMSE próximos a 0°C, durante as 4 estações do ano.

As estimativas de *Skill* (Figura 3) mostram a qualidade dos dados gerados durante as 4 estações de 2012. Valores de *Skill* superiores a 8 são observados em oceano aberto, enquanto na PCSB os valores indicam um desempenho superior a 0,7 nos períodos de outono, inverno e primavera. Mendonça *et al.* (2017) mostra que a análise comparativa diária de dados modelados e observados possui um pequeno erro associado. Porém, as regiões de vórtices e meandros ao sul da grade revelam um menor desempenho do *ROMS*, descritos anteriormente por Winton e Sarachik (1993).

Fig. 3 – *Skill* sazonal de TSM entre os dados do AVHRR-OI e o modelo numérico ROMS, para os períodos de verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d) de 2012.

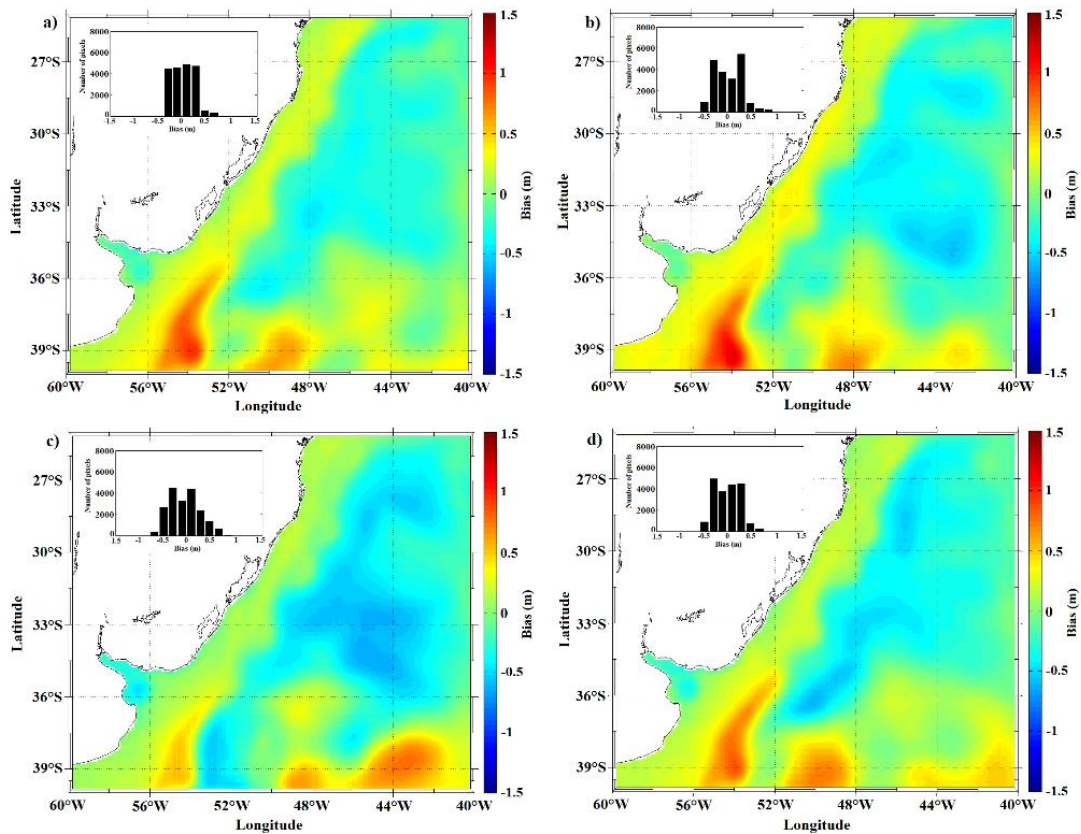


Fonte: Elaborado pelo(s) autor(es).

As variações altimétricas entre o sensor remoto e o modelo são similares durante as 4 estações do ano, com um *bias* médio de -0,2m (Figura 4). As variações ocasionadas pelo gradiente térmico das águas tropicais (CB) e subantárticas (CM) sobre a superfície, geram distintas feições de mesoescala como meandros e vórtices (LENTINI *et al.*, 2000). Os maiores valores de *bias* altimétrico são encontrados junto a CBM, assim como nos meandros e vórtices associados a esta região. Maiores valores em regiões costeiras estão atribuídos a menor precisão do modelo de maré usado para corrigir os dados altimétricos (STRUB *et al.*, 2015). Saraceno *et al.* (2010), no entanto, relatam que os modelos de maré utilizados na altimetria são, em geral, de boa concordância com as medidas das marés costeiras na plataforma atlântica do sudoeste.

Assim como, as variações do nível do mar associadas às correntes geostróficas que são, em geral, da ordem de dezenas de centímetros (SOUZA *et al.*, 2006).

Fig. 4 – *Bias* sazonal de altimetria entre os dados de satélite e o modelo numérico *ROMS*, para os períodos de verão (A), outono (B), inverno (C) e primavera (D) de 2012.



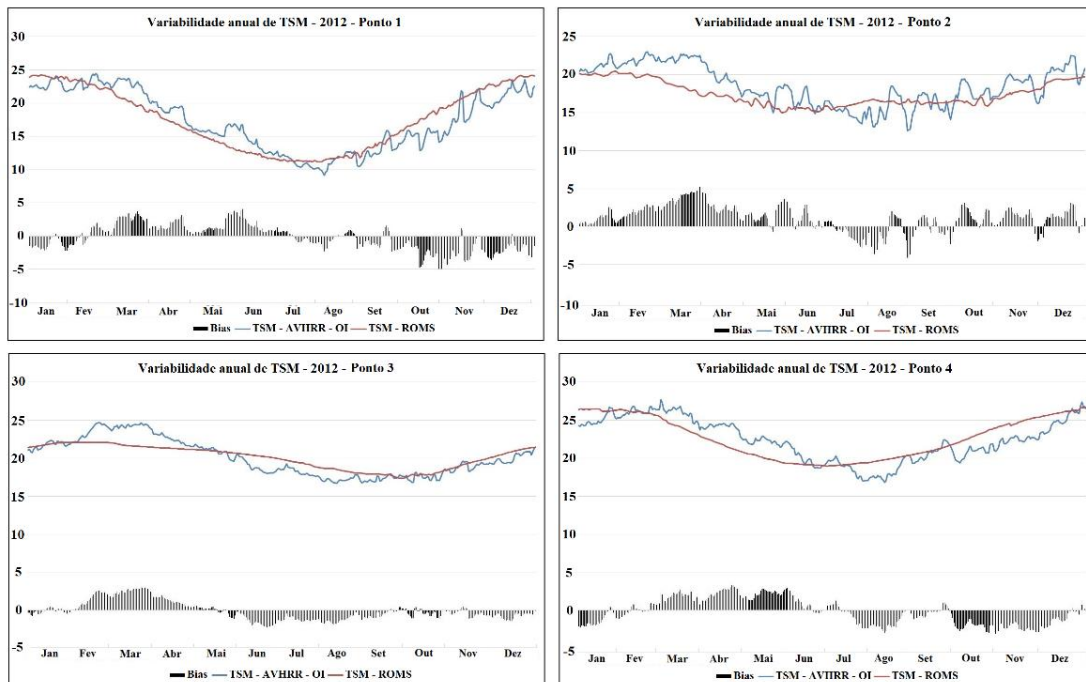
Fonte: Elaborado pelo(s) autor(es).

Os valores médios de RMSE para as 4 estações do ano de 2012 pouco variaram (0 a 0,4), chegando próximo a zero sobre o núcleo da CB. Estes dados indicam um desempenho razoável do modelo em caracterizar a principal corrente de contorno oeste de nossa área de estudo. Nos períodos de verão e inverno os valores de RMSE sobre a plataforma (0,1 a 0,2) mostram bons resultados do modelo em relação aos dados de satélite.

Com intuito de aprofundar as análises comparativas entre os dados altimétricos e de TSM no ano de 2012, foram gerados gráficos comparativos entre as saídas do modelo e os dados de sensoriamento remoto (Figura 5). A

análise dos quatro pontos mostra a clara variação sazonal da TSM, com uma diferença média de  $\sim 2^{\circ}\text{C}$  entre os dados modelados acompanhando os valores do AVHRR-OI. Observamos que existe a predominância das variações de curto prazo e oscilações de alta frequência associadas as mudanças atmosféricas. Esta variações são marcadas pelo sensor remoto, mesmo em regiões de forte gradiente termohalino (Ponto 1 e 2). Em geral, durante os primeiros 6 meses de 2012, os dados do AVHRR-OI são maiores que os modelados, invertendo no segundo semestre, onde o modelo passa subestimar os valores de temperatura do oceano.

Fig. 5 – Variabilidade anual de TSM para os quatro pontos analisados individuais analisados. Ponto 1 – Região da Pluma do Rio da Prata ( $36^{\circ}\text{S} - 56^{\circ}\text{W}$ ); Ponto 2 – Região da CBM ( $39^{\circ}\text{S} - 54^{\circ}\text{W}$ ); Ponto 3 – Região de oceano aberto ( $33^{\circ}\text{S} 44^{\circ}\text{W}$ ); Ponto 4 – Região de plataforma sobre águas tropicais ( $27^{\circ}\text{S}$  e  $48^{\circ}\text{W}$ ).



Fonte: Elaborado pelo(s) autor(es).

A variabilidade altimétrica apresenta variações de baixa frequência relacionadas diretamente ao ciclo lunar, mudando a amplitude localmente. Os dados altimétricos do CMEMS não apresentaram características sazonais,

gerando um *bias* anual médio em relação ao modelo de  $\sim 0,175\text{m}$ . Gan *et al.* (1998) encontrou valores entre 0,2 e 0,4m para esta mesma região em uma simulação de numérica de 360 dias. Durante os meses de janeiro a abril de 2012, os valores modelados acompanham os obtidos pela AVISO ( $\sim 0,05\text{m}$ ), porém a partir do mês de maio os valores modelados divergem consideravelmente dos observados por sensoriamento remoto. Segundo Garcia *et al.* (2004), durante o inverno, a formação de sistemas frontais do quadrante sul causa variações altimétricas com uma frequência de aproximadamente 15 dias. As diferenças altimétricas existentes indicam a necessidade um maior aprimoramento nas parametrizações do modelo numérico, para que os futuros resultados tenham uma maior representatividade em curta escala temporal. Apesar da diferença entre os dados remotos e os modelados, os valores altimétricos ainda são próximos aos observados por Matano (1993); Mata e Garcia (1996); Gan *et al.* (1998) e Witter e Gordon (1999).

#### 4 Conclusão

A utilização do *ROMS* para a análise da variabilidade superficial de TSM e altimetria no Oceano Atlântico Sudoeste, durante o ano de 2012, mostrou ser uma importante ferramenta na caracterização física deste ambiente. O objetivo deste trabalho é complementar os resultados apresentados por Mendonça *et al.* (2017), apresentando a etapa de comparação entre os dados modelados e os de sensoriamento remoto.

Nossos resultados mostram que o modelo *ROMS* é capaz caracterizar superficialmente as principais correntes e massas d'água existentes no oceano atlântico sudoeste, assim como as variações sazonais existentes na região. É possível observar o comportamento espaço-temporal da CB durante seu deslocamento para sul, assim como o intenso gradiente energético gerado pela região de encontro com a Corrente das Malvinas, já descritos anteriormente por outros autores.

A variabilidade sazonal mostra padrões distintos ao longo das principais regiões da grade. A análise de TSM indica uma variação sazonal dos dados, onde as saídas do modelo acompanham a média dos valores registrados pelo AVHRR-OI. Com um *bias* médio de 3°C para o ano de 2012, os 4 pontos amostrados apresentaram valores de diferença aceitáveis em relação a outros autores. As diferenças diárias de altura do nível do mar não apresentaram um padrão definido, porém indicam que, no oceano Atlântico Sudoeste, o *ROMS* superestimou os dados remotos, durante o período analisado.

Nossos resultados sugerem que, a implementação de um modelo regional oceânico para a PCSB consiste em uma importante ferramenta para o estudo oceanográfico da região. Além de possibilitar a análise de séries temporais longas, este tipo de estudo pode ampliar ainda mais o conhecimento existente sobre esta região ecológica e economicamente importante do litoral brasileiro.

## **Agradecimentos**

Agradecemos ao CNPq e a FINEP pelo apoio financeiro aos projetos ACEx (558108/2009-1) e SIMTECO, respectivamente. A CAPES é reconhecida por financiar o primeiro autor (Processo Nº 1227641). O Serviço de Monitoramento do Meio Marinho da Copernicus (<http://marine.copernicus.eu>) por fornecer os dados de altimetria, a NOAA por fornecer os dados de temperatura da superfície do mar (<https://www.ncdc.noaa.gov/oisst>), COADS (<http://icoads.noaa.gov/products.html>) e CFSv2 (<http://cfs.ncep.noaa.gov/>).

## **Referências**

CASTELLO, J. P.; DUARTE, A.; MÖLLER JR, O. O.; NIENCHESKI, L. F.; ODEBRECHT, C.; WEISS, G.; SUZUKI, M. **On the importance of coastal**

- and subantarctic waters for the shelf ecosystem off Rio Grande do Sul.** Symposium on the South Coast Ecosystems and Brazilian Southeast. Structure, Function and Management, 2. Águas de Lindóia. Anais, 1, 1990, pp. 112-129.
- DONLON, C. J.; MARTIN, M.; STARK, J.; ROBERTS-JONES, J.; FIEDLER, E.; WIMMER, W. **The operational sea surface temperature and sea ice analysis (OSTIA) system.** Remote Sensing of Environment, v. 116, 2012, pp. 140-158.
- DUFOIS, F.; PENVEN, P.; WHITTLE, C. P.; VEITCH, J. **On the warm nearshore bias in Pathfinder monthly SST products over Eastern Boundary Upwelling Systems.** Ocean Modelling, v. 47, 2012, pp. 113-118.
- FARIAS, P. C. **Fluxos de calor e dióxido de carbono entre o oceano e a atmosfera na região costeira e oceânica ao sul do Brasil.** Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014, pp. 91.
- GAN, J.; MYSAK, L. A.; STRAUB, D. N. **Simulation of the South Atlantic Ocean circulation and its seasonal variability,** Journal of Geophysical Research, v. 103, n. 10, 1998, pp. 241-252.
- GARCIA, C. A.; SARMA, Y. V. B.; MATA, M. M.; GARCIA, V. M. **Chlorophyll variability and eddies in the Brazil–Malvinas Confluence region.** Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, v. 51, n. 1, 2004, pp. 159-172.
- GUERRERO R. A.; PIOLA, A. R.; FENCO, H.; MATANO, R. P.; COMBES, V.; YI CHAO; JAMES, C.; PALMA, E. D; SARACENO, M.; STRUB, P. T. **The salinity signature of the cross-shelf exchanges in the Southwestern Atlantic Ocean: Satellite observations.** Journal of Geophysical Research - Oceans, v. 119, 2014, pp. 7794-7810.
- HAIIDVOGEL, D. B.; ARANGO, H.; BUDGELL, W. P.; CORNUELLE, B. D.; CURCHITSER, E.; DI LORENZO, E.; FENNEL, K.; GEYER, W. R.; HERMANN, A. J.; LANEROLLE, L.; LEVIN, J.; MCWILLIAMS, J. C.; MILLER, A. J.; MOORE, A. M.; POWELL, T. M.; SHCHEPETKIN, A. F.; SHERWOOD, C. R.; SIGNELL, R. P.; WARNER, J. C.; WILKIN, J. **Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and Skill**

**assessment of the Regional Ocean Modeling System**, Journal of Computational Physics, v. 227, n. 7, 2008, pp. 3595-3624.

HAIMOVICI, M. **Recursos Pesqueiros Demersais da Região Sul. Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos da Zona Econômica Exclusiva (Revizee)**, editado pela Fundação de Estudos do Mar (FEMAR), Rio de Janeiro, 1997, pp. 81.

KANTHA, L. H. e CLAYSON, C. A. **Numerical Models of Oceans and Oceanic Processes**. International Geophysics Series, 66. Foreword by Kirk Bryan, Academic Press, 2000, pp. 940.

LENTINI, C. A. D.; CAMPOS, E. J. D.; PODESTÁ, G. P. **The annual cycle of satellite derived sea surface temperature on the western South Atlantic shelf**. Revista Brasileira de Oceanografia, v. 48, n. 2, 2000, pp. 93-105.

MATA, M. M. e GARCIA, C. A. E. **Variabilidade da topografia oceânica superficial no Atlântico Sul Ocidental observada pela altimetria TOPEX/ POSEIDON**. Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1996, v. 67.

MATANO, R. **On the separation of the Brazil Current from the coast**. Journal of Physical Oceanography, v. 23, 1993, pp. 79-90.

MATANO, R. P.; PALMA, E. D.; PIOLA, A. R. **The influence of the Brazil and Malvinas Currents on the Southwestern Atlantic Shelf circulation**. Ocean Science, v. 6, 2010 pp. 983-995.

MATANO, R. P.; COMBES, V.; PIOLA, A. R.; GUERRERO, R.; PALMA, E. D.; STRUB, P. T.; JAMES, C.; FENCO, H.; CHAO, Y.; SARACENO, M. **The salinity signature of the cross-shelf exchanges in the southwestern Atlantic Ocean: numerical simulations**. Journal of Geophysical Research - Oceans, v. 119, 2014, pp. 7949-7968.

MENDONÇA, L. F.; SOUZA, R. B.; ASEFF, C. R. C.; PEZZI, L. P.; MÖLLER, O. O.; ALVES, R. C. **Regional modeling of the water masses and circulation annual variability at the Southern Brazilian Continental Shelf**, Journal of Geophysical Research - Oceans, v. 122, 2017, pp. 1232-1253.



- 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, n. 13, 2018, pp. 1607-1624.
- 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, n. C11, 2008, pp. 22.
- PALMA, E. D. e MATANO, R. P. **Disentangling the upwelling mechanisms of the South Brazil Bight,** *Continental Shelf Research*, v. 29, 2009, pp. 1525–1534.
- PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; FARIAS, P. C.; ACEVEDO, O.; MILLER, A. J. **Air-sea interaction at the Southern Brazilian Continental Shelf: In situ observations.** *Journal of Geophysical Research - Oceans*, v. 121, 2016.
- PIMENTA F. M.; CAMPOS, E. J. D.; MILLER, J.; PIOLA, A. R. J. **A numerical study of the Plata river plume along the Southeastern South American Continental Shelf.** *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 53, 2005, pp. 129-146.
- PIOLA, A. R.; CAMPOS, E. J. D.; MÖLLER JR, O. O.; CHARO, M.; MARTINEZ, C. **Subtropical Shelf Front off eastern South America.** *Journal of Geophysical Research*, v. 105, n. C3, 2000, pp. 6565-6578.
- PIOLA, A. R.; MATANO, R. P.; PALMA, E. D.; MÖLLER JR, O. O.; CAMPOS, E. J. D. **The influence of the Plata River discharge on the western South Atlantic shelf.** *Geophysical Research Letter*, v. 32, 2005.
- PIOLA, A. R.; MÖLLER JR., O. O.; GUERRERO, R. A.; CAMPOS, E. J. D. **Variability of the Subtropical Shelf front of eastern South America: winter 2003 and summer 2004.** *Continental Shelf Research*, v. 28, 2008, pp. 1639-1648.
- REYNOLDS, R. W.; SMITH, T. M.; LIU, C.; CHELTON, D. B.; CASEY, K. S.; SCHLAX, M. G. **Daily High-Resolution-Blended Analyses for Sea Surface Temperature.** *Journal of Climate*, v. 20, 2007, pp. 5473-5496.
- ROBINSON, I. S. **Measuring the oceans from space: the principles and methods of satellite oceanography.** Springer Science e Business Media, 2004.

- SAHA, S.; MOORTHY, S.; WU, X.; WANG, J.; NADIGA, S.; TRIPP, P.; BEHRINGER, D.; HOU, Y.; CHUANG, H.; IREDELL, M.; EK, M.; MENG, J.; YANG, R.; MENDEZ, M. P.; VAN DEN DOOL, H.; ZHANG, Q.; WANG, W.; CHEN, M.; BECKER, E. **The NCEP Climate Forecast System Version 2**. Journal of Climate, v. 27, 2014, pp. 2185-2208.
- SARACENO, M.; D'ONOFRIO, E. E.; FIORE, M. E.; GRISMEYER, W. H. **Tide model comparison over the Southwestern Atlantic Shelf**. Continental Shelf Research, v. 30, n. 17, 2010, pp.1865-1875.
- SHCHEPETKIN, A. F. e MCWILLIAMS, J. C. **Correction and Commentary for "Ocean Forecasting in Terrain-Following Coordinates: Formulation and Skill Assessment of the Regional Ocean Modeling System" by Haidvogel et al.** Journal of Computational Physics, v. 228, 2009, pp. 8985-9000.
- SLUTZ, R. J.; LUBKER, S. J.; HISCOX, J. D.; WOODRUFF, S. D.; JENNE, R. L.; JOSEPH, D. H.; STEURER, P. M.; ELMS, J. D. Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Setm, Release 1. NOAA Environmental Research Laboratories, Climate Research Program, Boulder, CO, 1985, v. 268.
- SOARES, H. C. **Variabilidade climática interanual local e remota do atlântico sul sobre os grandes ecossistemas marinhos brasileiros**. Tese de doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, 2014, pp. 1-121.
- SOUZA, R. B. e ROBINSON, I. S. **Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current**. Continental Shelf Research, v. 24, 2004, pp. 241-262.
- SOUZA, R. B. MATA, M. M.; GARCIA, C. A. E.; KAMPEL, M.; OLIVEIRA, E. N.; LORENZZETTI, J. A. **Multi-sensor satellite and in situ measurements of a warm core ocean eddy south of the Brazil-Malvinas Confluence region**. Remote Sensing Environmental, 100, 2006, pp. 52-66.
- SOUZA, R. B. (Ed.). **Oceanografia por satélites. Oficina de Textos**, 2009.
- STRUB, P. T.; JAMES, C.; COMBES, V.; MATANO, R. P.; PIOLA, A. R.; PALMA, E. D.; SARACENO, M.; GUERRERO, R. A.; FENCO, H.; RUIZ-ETCHEVERRY, L. A. **Altimeter-derived seasonal circulation on the southwest Atlantic shelf: 27,8-43,8°S**. Journal of Geophysical Research - Oceans, v. 120, 2015.

- SUNYE, P. S. e SERVAIN, J. **Effects of seasonal variations in meteorology and oceanography on the Brazilian sardine fishery.** Fisheries Oceanography, v. 7, n. 2, 1998, pp. 89-100.
- TOKINAGA, H.; TANIMOTO, Y.; XIE, S. P. **SST-induced surface wind variations over the Brazil–Malvinas confluence: Satellite and in situ observations.** Journal of climate, v. 18, n. 17, 2005, pp. 3470-3482.
- WIENDERS, N.; ARHAN, M.; MERCIER, H. **Circulation at the western boundary of the South and Equatorial Atlantic: Exchanges with the ocean interior.** Journal of Marine Research, v. 58, 2000, pp. 1007-1039.
- WINTON, M. e SARACHIK, E. S. **Thermohaline oscillations induced by strong steady salinity forcing of ocean general circulation models.** Journal of Physical Oceanography, v. 23, n. 7, 1993, pp. 1389-1410.
- WITTER, D. L. e GORDON, A. L. **Interannual variability of South Atlantic circulation from 4 years of TOPEX/POSEIDON satellite altimeter observations.** Journal of Geophysical Research - Oceans, v. 104, C9, 1999, pp. 20927-20948.
- ZAVALA-GARAY, J.; WILKIN, J.; LEVIN, J. **Data Assimilation in Coastal Oceanography (ROMS),** 2014, pp. 22.