Frente Térmica e Núcleo de Velocidade da Corrente do Brasil na Costa Sudeste Brasileira

Larissa Patricio Valério[1]
Leandro Calado [2]
Eduardo Marone[1]

[1] Universidade Federal do Paraná - UFPR/CEM
Caixa Postal 50020 - 83255-000 – Pontal do Sul - PR, Brasil
laricem@yahoo.com.br, edmarone@ufpr.br

[2] Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira - IEAPM
Caixa Postal 515 - 12227-010 – Arraial do Cabo - RJ, Brasil
lcalado@ieapm.mar.mil.br

Abstract. Surface Thermal Fronts (TF) in the southeastern brazilian coast, were examined in order to validate its utility in the identification of the symmetry axis of the Brazil Current's main flux. The spatial variability of the position of TF was initially characterized in the GOES-8 diary thermal data for 2006/2007, in maps which has free cloud cover for the region. To correlate them with the symmetry axis, diary outputs of a numerical model performed for the CB domain in 2007, were obtained and evaluated. For each output, the thermal field and total velocities field were digitilized in the upper layer, resulting in a curve positioned along the TF and another in the symmetry axis respectively. The normal distance average between these two curves were measured for each simulation day, and was found 48.11 ± 10.53 km indicating that the mean distance between TF and symmetry axis modeled was similar to the distance known, between the internal edge and the velocity nucleus of CB. The seasonal variability was marked and showed the formation sites of the meanders and eddies along CB flux. A similar comparison was made, validating each modeled TF with each respective TF taken out of the orbital data. Although the mean distance found was 28 ± 10.4 km, it showed that both TF measured and the identificated features were similarly positioned, giving a value to the modeled one.

Palavras-chave: Corrente do Brasil, Frente Térmica, Costa Sudeste Brasileira

1. Introdução

Diversos trabalhos apontam as Frentes Térmicas (FT) como feições representativas de fenômenos em meso-escala oceânicos, recorrendo-se à elas para mapear a posição do fluxo principal das correntes, das estruturas vorticais, meandrantes, de ressurgências, das divergências e convergências como é o caso da Confluência Brasil-Malvinas.

A interface de encontro entre diferentes massas de água implica na intensa troca das propriedades físico-químicas nessas regiões (Castro et al., 2006), e as FT representam a posição geográfica na qual existe um acentuado gradiente entre as temperaturas na superfície do mar.

A FT da Corrente do Brasil (CB) é comumente identificada em mapas espaciais de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), e sua posição média está relacionada com as demarcações de quebra de plataforma continental em aproximadamente 200 à 1000 m (Garfield III, 1990).

A identificação e a localização de tais feições tornam se importantes para o conhecimento e previsão dos processos oceanográficos onde no Brasil ocorrem os principais poços de prospecção de óleo e gás, e as principais rotas de navegação de parte dos navios que fazem transbordo de carga no país.

Com o propósito de validar a FT para seu uso na identificação de processos de meso-escala da CB, o objetivo deste trabalho teve foco em extrair de uma série de resultados de modelagem numérica para a Costa Sudeste Brasileira, a FT de um campo termal e a curva da onde as velocidades são máximas (Núcleo de Velocidades - NV) do campo de velocidades

totais em superfície. Essas duas curvas comparadas podem explicar o quanto as feições extraídas de dados termais estão representando a Corrente do Brasil a partir do seu núcleo.

2. Metodologia

Para a identificação inicial, foram utilizados mapas espaciais diários de TSM do sensor infravermelho do satélite GOES-8 (4,63km^2) referentes ao período de 2006/2007, no qual selecionou-se os que apresentavam ausência da cobertura de nuvens ao menos no domínio de estudo, e a FT fosse visualmente notada (Figura 1).

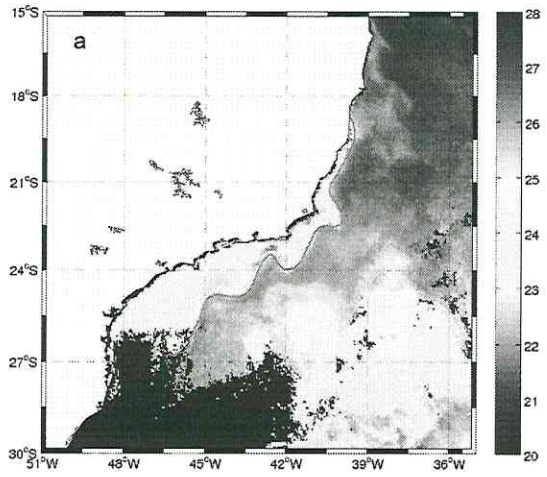

Figura 1: Corrente do Brasil na Costa Sudeste Brasileira, a partir do mapa de dados termais do sensor infra-vermelho do satélite GOES-8. O traçado verde digitalizado representa a Frente Térmica da corrente, e as temperaturas estão em graus Celsius.

A digitalização de imagens é um método que permite ao observador traçar manualmente quaisquer feições que lhe sejam desejáveis de destacar, inclusive armazenando dados de posição espacial neste traçado. Assim, a partir da visualização dos dados de TSM no Matlab, os mapas diários foram salvos, e então georreferenciados e digitalizados no software Didger. Para cada mapa obteve-se uma curva da posição espacial da FT, procedimento no qual permitiu observar os padrões de variabilidade anual da CB.

No intuito de relacionar espaço-temporalmente a FT e o NV, a modelagem numérica foi o auxílio necessário para obter em meso-escala o padrão de correntes superficiais no domínio de estudo.

A implementação do modelo foi realizada por Maneschy (2010), o qual utilizou a climatologia de Boyer et al (2005), batimetria da base dados do ETOPO2v2 (NOAA, 2006), e a única forçante do experimento foi o vento da base de dados do REANALYSIS-2 NCEP, para o ano de 2007 com integração temporal diária.

Desta implementação, obteve-se os campos de velocidades totais e de temperaturas superficiais para a Costa Sudeste Brasileira, referentes somente ao ano de 2007. Os campos foram digitalizados aos mesmos moldes metodológicos dos dados orbitais (Figura 4a), e nos de velocidades totais buscou-se identificar através da indicação dos vetores, os módulos de maior intensidade para a digitalização (Figura 4b).

Para cada par de curvas desta simulação, a distância normal média entre ambas foi medida, com um algoritmo exclusivamente desenvolvido para este propósito (Figura 5). No intuito de verificar a semelhança entre a FT dos dados orbitais termais, com a FT dos dados simulados, o mesmo cálculo foi conferido, obtendo-se assim uma aproximação do quanto o modelo pode corresponder aos dados sinópticos de satélite.

3. Resultados

Estas frentes evidenciam a intensa atividade de meso-escala da CB, assim como a variabilidade do meandramento, ora se ajustando entre as isóbatas de 200 m e 1000 m, ora propagando seu sinal em águas costeiras, ou até mesmo nas regiões oceânicas adjacentes quando abaixo da latitude de 24°S. A sazonalidade foi marcante, devido a própria intensidade da corrente e à interação com massas de água costeiras. A quantidade de FT em cada estação se associou à complexidade encontrada na dinâmica da região e à quantidade de imagens sem cobertura de nuvens (Figura 3).

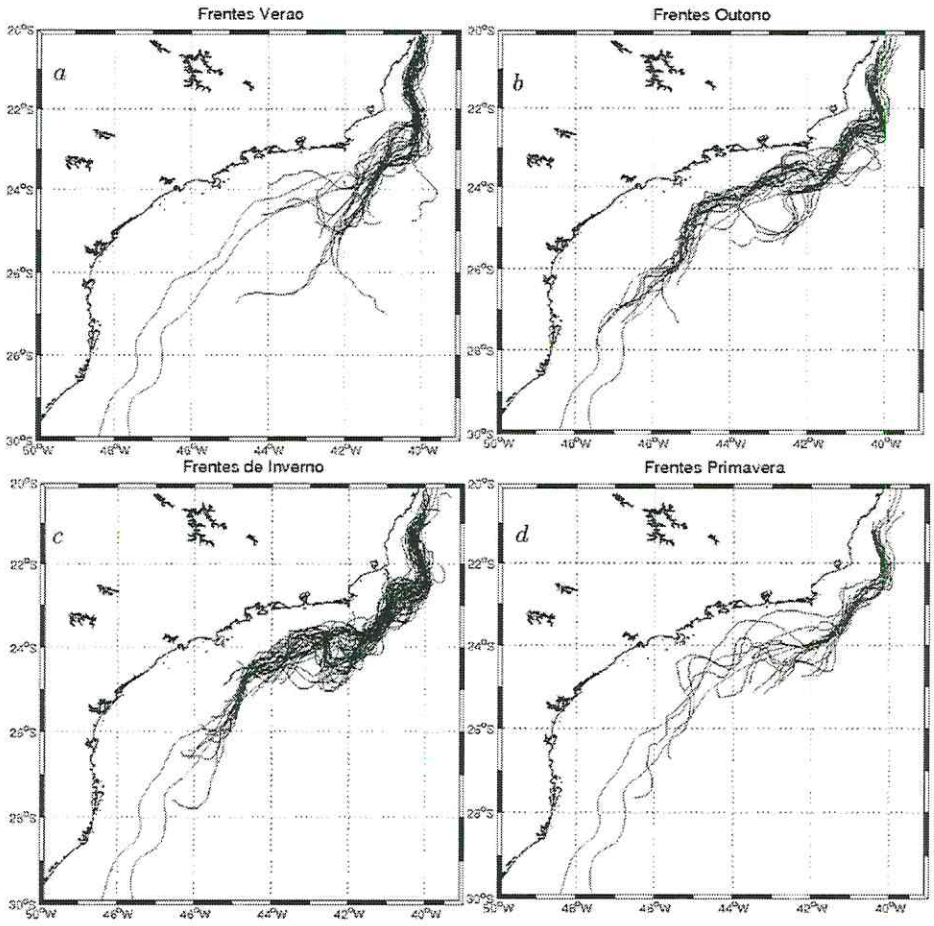

Figura 3: Frentes Térmicas digitalizadas em dados orbitais termais do sensor infra-vermelho do satélite GOES-8. Em *a*, o verão, em *b* o outono, em *c* o inverno, e em *d* a primavera.

No verão (Figura 3*a*) observa-se o ajustamento das FT no invólucro batimétrico de 200 m a 1000 m, predominantemente entre 20°S e 23°S, e abaixo destas latitudes as frentes divergem em diversos momentos, possivelmente indicando um ramo de retroflexão da CB. A quantidade e tamanho de frentes nesta se deve à intensa cobertura de nuvens da época, que cobre parte do mapa de TSM. No outono (Figura 3*b*) a quantidade de frentes é visivelmente maior, encaixando-se entre 200 m e 1000 m com maior freqüência. Intensos meandros são observados, principalmente ao largo de Cabo Frio (23°S), e Cabo de São Tomé, se estendendo até 28°S. No inverno (Figura 3*c*) a quantidade de frentes é máxima, os sítios de formação dos vórtices da CB ficam evidentes, e seu maior ramo atinge 28°S. Na primavera (Figura 3*d*), embora a estação com a menor quantidade de frentes associadas, estas demonstram se aproximar de isóbatas inferiores à 50 m, quando não inseridas entre 200 m e 1000 m.

Os resultados de simulação numérica para o domínio da CB permitiram comparar as feições termais com o campo de velocidades totais em escala espaço-temporal. Da comparação entre cada par de curvas verificou-se no período de um ano, uma sazonalidade em distâncias médias, e esse valor oscilou em torno de 48.11 ± 10.53 km. O resultado revela que independente da estação do ano, a Frente Térmica acompanha simultaneamente o padrão de escoamento da CB, apesar da ocorrência de intensos meandros, e que sua posição está intimamente associada à localização da borda interna da corrente, quando se percebe que esta é indicada pelos menores valores de velocidades em relação aos do fluxo principal.

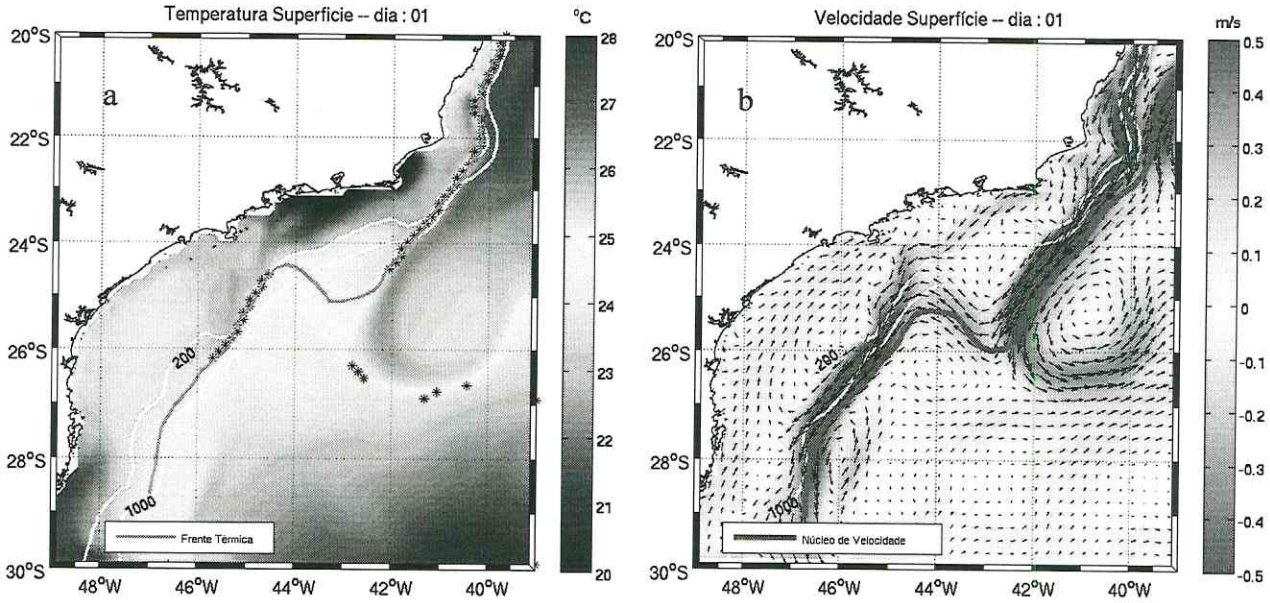

Figura 4: Campos resultantes de simulação numérica para a Corrente do Brasil. Na figura à esquerda o campo termal, e em rosa a Frente Térmica digitalizada. Na direita o campo de velocidades totais digitalizado, o Núcleo de Velocidades em vermelho para o mesmo dia de simulação.

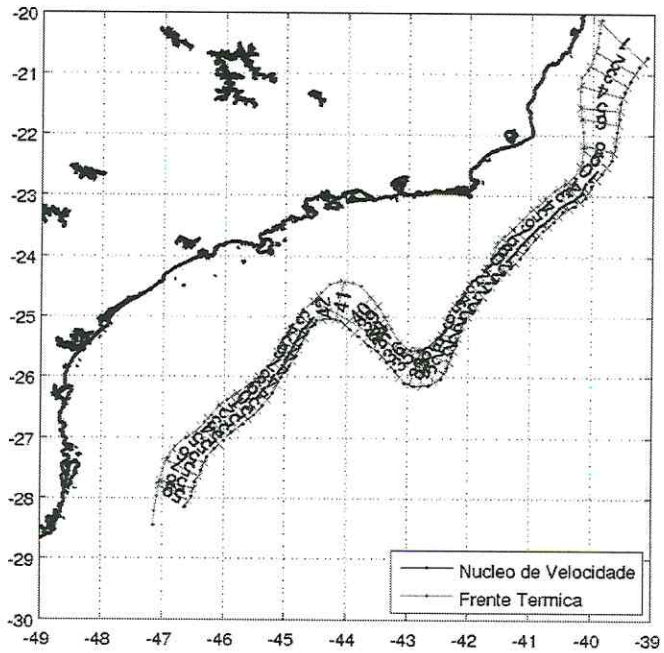

Figura 5: Comparação entre as duas curvas digitalizadas, e a distância normal entre elas calculada. O NV em preto e a FT em vermelho.

Em diversas ocasiões, a distância FT-NV se eleva, resultante da atividade de meso-escala que homogeniza o gradiente termal, e transporta águas da CB para o interior da plataforma. Essas águas formam então, gradientes extremamente fortes com águas costeiras como as de ressurgência, todavia gradientes como estes não eram levados em consideração, porém induziam a discrepâncias na correta identificação da FT.

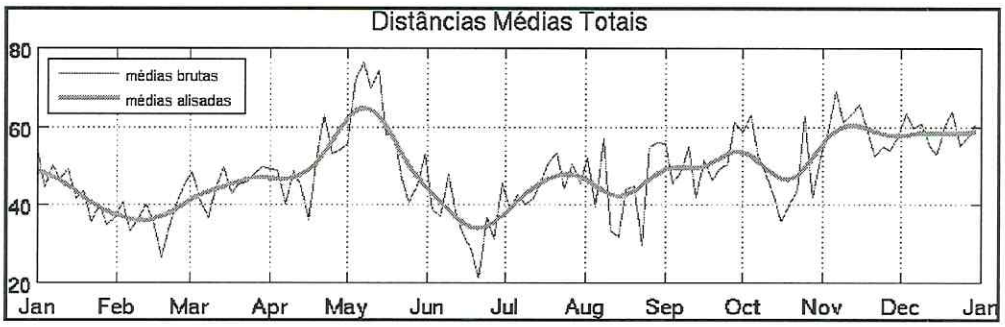

Figura 6: Distâncias médias totais resultantes da comparação entre as curvas de FT e NV. Em azul as médias brutas medidas, e em rosa as alisadas pelo filtro de Hanning, com janela 5 dias.

Na Figura 6 pode se observar as maiores e menores médias calculadas para todo o período simulado, entre a FT e o NV em azul, como médias brutas. Em rosa, as médias pelo filtro de Hanning cuja janela foi calculada para 5 dias, gerando uma curva alisada dos valores. A variabilidade maior foi encontrada nos meses de outono, como se pode ver no gráfico, entretanto ao longo de todo ano esses valores oscilaram em torno de 40 à 60 km no total.

Uma segunda comparação foi feita no sentido de validar a FT do modelo com a FT previamente digitalizada dos dados orbitais termais. Esperava-se que ambas fossem coincidentes, entretanto não demonstraram boa concordância em termos de posições geográficas distando entre si em média 28±10.4 km, porém uma marcada similaridade em termos de formato e acompanhamento das feições características foi demonstrada, valorizando os resultados do modelo. Atribui-se essa marcada distância entre duas curvas, pelo fato dos erros gerados no momento do geoprocessamento das imagens, e também à maneira de digitalização que não automatizada torna-se subjetiva.

4. Conclusões

As Frentes Térmicas nos dados orbitais termais demonstraram a assinalada atividade de meandramento da CB, e os sítios de formação dos vórtices de Cabo de São Tomé e Cabo Frio. Essas assinaturas tiveram variabilidade demarcada em escala sazonal, porém corroborando os indícios da literatura de que seu posicionamento médio encontra-se entre as isóbatas de 200 m a 1000 m, principalmente entre 20°S e 23°S. As estações em que há maior disponibilidade de se observar as FT são entre o outono e o inverno, provavelmente correlacionadas com o menor tempo de permanência de nuvens na região.

Felizmente, os resultados de simulação permitiram a análise em intervalos diários e contínuos, como ferramenta adicional ao estudo. A análise envolvida indicou que a FT acompanha similarmente o caminho percorrido pelo NV, com uma distância média anual de aproximadamente 50 km. Isso indica que a partir do momento que a largura do fluxo principal da CB é de 100-120 km de extensão (Silveira et al, 2000), essa porção entre FT e NV, se refere à metade do fluxo, ou a borda interna da corrente. Adicionalmente, observou-se que os vetores de velocidade na posição da FT são muito menores ou em direções contrárias aos da CB no núcleo, corroborando as constatações feitas anteriormente.

Pela validação da FT de dados orbitais com a FT de dados simulados, em uma comparação média, esperava-se que ambas se posicionassem praticamente na mesma localidade, entretanto estimou-se uma distância de aproximadamente 30 km entre elas. Nesse caso atribui-se à erros de georreferenciamento uma possível causa, porém há de se verificar em uma maior quantidade de dados, para esta comparação.

Deste trabalho surgem diversas sugestões para procedimentos futuros. A primeira que se segue é a análise com continuidade de dados de TSM no domínio, comprometida pela contaminação por nebulosidade recorrente. Ferramentas adicionais podem ser consideradas, como dados de cor do mar, altura da superfície livre, radar, entre outros complementares que tendem a enriquecer a descrição dos fenômenos de meso-escala da CB. Para fins de comparação, a modelagem é extremamente importante conferindo escala espaço-temporal contínua, mas dados hidrográficos *in situ* são indispensáveis na análise dos processos oceanográficos em conjunto.

A principal ferramenta desse trabalho foi a digitalização manual de mapas de dados. Essa metodologia tem sido aplicada na literatura, e há muito se confere uma tendência à subjetividade, por ser dependente do observador que executa o trabalho. Sugere-se a automatização do método e uma padronização dos critérios a serem levados em consideração quando da digitalização de Frentes Térmicas, para minimizar a influência manual e perceptiva da observação destes fenômenos.

Agradecimentos

Aos professores e mestres Dr. Leandro Calado, Dr. Eduardo Marone, MSc. Rafael A. de Mattos, ao Bsc Felipe Maneschy, e ao CNPq pela concessão da bolsa parte da realização deste trabalho. À equipe do Prof. Dr. Gutemberg França (UFRJ) pelos dados de TSM do GOES-8.

Referências Bibliográficas

Boyer, T., Levitus, S., Garcia, H., Loccarini, R. A. Objective Analyses of annual, seasonal and monthly temperature and salinity for the world ocean on a 0,25 degrees grid. **International Journal of Climatology**, v 25(7), pg 931-945. 2005.

Castro, B. M., Lorenzzetti, 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. D. B., Madureira L. S. P. (Org.). **O Ambiente Oceanográfico da Plataforma Continental e do Talude na Região Sudeste-Sul do Brasil**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2006, cap 1, p 11-120.

Garfield III, N. The Brazil Current at Subtropical Latitudes. 1990. 121 p. Tese (Doutorado em Oceanografia). University of Rhode Island, USA.

Maneschy, F. S. A. Avaliação do efeito topográfico da cadeia Vitória- Trindade na dinâmica da Corrente do Brasil durante o verão. 2010. 72 p. Monografia (Bacharelado em Oceanografia). Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NOAA, National Oceanic and Atmopheric Administration, NGDC, National Geophysical Data Center, 2006: **ETOPO2v2 Global Gridded 2-minute Database**, U.S. Dept. of Commerce, http://.noaa.gdc.noaa.gov/mgg/global/etpo2.html

Silveira, I. C. A., Schimidt, A. C. K., Campos, E. J. D., Godoi, S. S., & Ikeda, Y. A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 48, n. 2, p. 171–183. 2000