

# Detecção de Feições Oceanográficas a Partir de Dados Orbitais:

## Validação de Modelos Numéricos

*Eduardo Negri de Oliveira*

*Pesquisador da Divisão de Projetos Oceânicos do IEAPM. Doutor em Geoquímica pela Universidade Federal Fluminense*

*Leandro Calado*

*Encarregado da Divisão de Projetos Oceânicos do IEAPM. Doutor em Oceanografia Física pela Universidade de São Paulo.*

*Wandrey de Bortoli Watanabe*

*Pesquisador da Divisão de Projetos Oceânicos do IEAPM. Mestre em Oceanografia Física pela Universidade de São Paulo*

*Ricardo Marques Domingues*

*Pesquisador da Divisão de Projetos Oceânicos do IEAPM. Bacharel em Oceanografia Física pela Universidade Federal da Bahia*



### Introdução

A costa sudeste brasileira, compreendida entre a Cadeia Vitória-Trindade (20°S) e o Cabo de Santa Marta Grande (28°S), é caracterizada pela intensa atividade de meandros e vórtices associados ao escoamento da Corrente do Brasil (CB), fechando a borda oeste do Giro Subtropical do Atlântico Sul. Particularmente na região de Cabo Frio (23°S), é marcante a ocorrência da ressurgência costeira, assim como a formação de meandros que, na maioria dos eventos, evolui para vórtices ciclônicos de dimensões que podem variar de 60 a 400 km de diâmetro. A dinâmica associada à plataforma continental nessa região apresenta uma escala de variabilidade temporal sazonal,

em consequência das oscilações de intensidade da radiação solar e do regime de ventos. Segundo Castro (1996), a persistência de ventos do quadrante N-NE no verão, associada à orientação da margem continental, promove o transporte da camada de Ekman de superfície em direção ao largo, resultando em ressurgência da Água Central do Atlântico Sul (ACAS) na superfície. Em síntese, o cenário oceanográfico na região de Cabo Frio envolve o escoamento da CB, os meandros e vórtices associados e a ressurgência costeira (Calado et al., 2010).

Processos de mesoescala, tais como vórtices, frentes de correntes e os fenômenos de ressurgência de quebra de plataforma e costeiras, são também importantes para caracterização e previsão da dinâmica oceânica. Estas feições

podem ser identificadas por dados orbitais e, com sua delimitação superficial, é possível determinar sua estrutura vertical, por meio de modelos paramétricos denominados Modelos de Feições (MF's). Isto possibilita o conhecimento do campo de densidade local, permitindo, assim, a assimilação deste campo em modelos climatológicos oceânicos.

Conduzido pelo Departamento de Engenharia Oceânica do IEAPM e financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), o Projeto DetecFeições (Detecção de Feições Oceanográficas a Partir de Dados Orbitais) tem implementado algoritmos para detecção automática de feições oceanográficas superficiais a partir de diferentes sensores e

satélites, entre os quais destaca-se o algoritmo single image edge detection (SIED) (Cayula & Cornillon, 1992). O algoritmo SIED tem sido amplamente usado por vários grupos de pesquisas e é considerado um dos mais robustos algoritmos para mapeamento de feições oceânicas a partir de sensores ópticos e termais (Belkin et al., 2009; Wall et al., 2008). De maneira geral, as feições oceanográficas identificadas pelo algoritmo SIED podem ser incorporadas aos Modelos de Feições (MF's) que, acoplado a dados climatológicos e a imagens de satélites, servem de base para a inicialização dos modelos de previsão numérica oceânica.

#### Os Modelos de Feições

Modelos de Feições são representações numéricas das feições oceanográficas de maior relevância dinâmica, como correntes, vórtices e meandros. A partir de dados de cruzeiros oceanográficos e imagens de satélites, procura-se construir os MF's determinando-se equações matemáticas capazes de descrever a estrutura termohalina tridimensional da feição (Calado et al., 2008). Resumidamente o processo dá-se da seguinte forma: inicialmente as feições são identificadas nas imagens de satélites (dado sinótico) e capturadas pelo algoritmo SIED; posteriormente, os Modelos de Feições são calibrados conforme as variabilidades observadas nas imagens e capturadas pelo algoritmo SIED e, finalmente, o campo termohalino preliminar utilizado para inicializar os

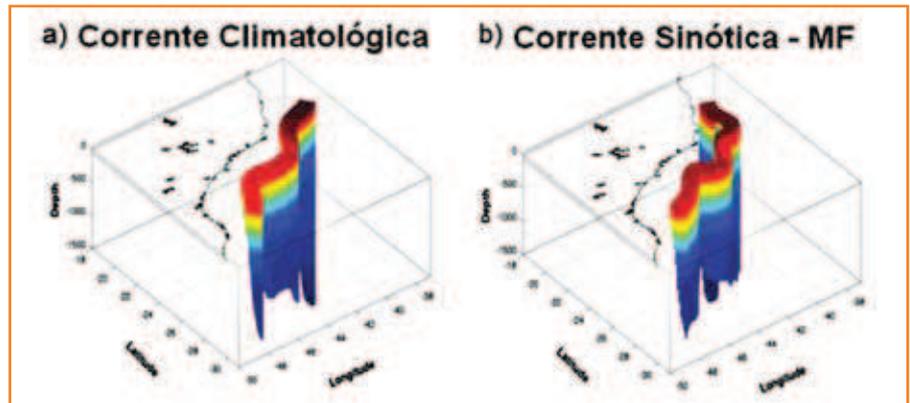


Figura 1 – Estrutura termohalina para uma CB climatológica (a) e sinótica (b).

modelos numéricos de previsão oceânica, é ajustado de acordo com as variabilidades de meso-escala identificadas. Seguindo esta metodologia, foi desenvolvido o MF para a CB em sua porção sudeste. A figura 1 ilustra como este MF, em seu caminho climatológico, é ajustado ao caminho sinótico identificado na imagem de satélite e capturado pelo SIED, incorporando a característica sinótica da feição oceanográfica de meso-escala.

A partir da interpolação do MF identificado na figura 1b

sobre um campo termohalino tridimensional base (background), obtém-se a estrutura termohalina sinótica da coluna d'água (Fig. 2b), utilizada como base para inicialização dos modelos numéricos.

A partir do campo termohalino inicial construído, como descrito anteriormente, foi conduzida uma simulação numérica de curto período, utilizando o Regional Ocean Modeling System (ROMS) na região sudeste brasileira baseada no cenário do dia 10/ jul/2010.

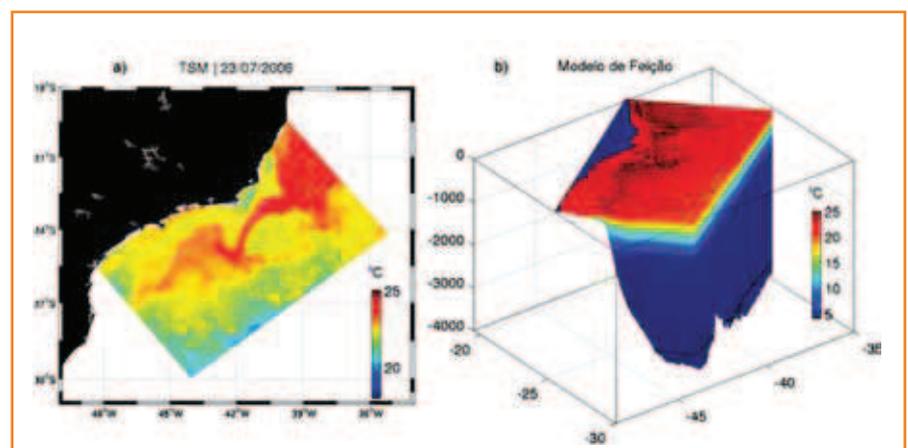


Figura 2 – Temperatura da superfície do mar (a) e a estrutura termohalina tridimensional baseada no MF da CB (b), ilustrando a dinâmica oceânica sinótica do dia.

## Validação dos Modelos Numéricos

Em sua fase preliminar, os modelos hidrodinâmicos oceânicos são inicializados a partir dos campos termohalinos baseados nos MF's. A dinâmica oceânica pode então ser estimada considerando a previsão de curto período. Uma forma de se avaliar os campos termais resultantes dos modelos numéricos é por meio da identificação das frentes termais, ou seja, as frentes termais apresentadas nas imagens de TSM derivadas dos modelos e as frentes termais identificadas nas imagens de satélites representativas do mesmo dia podem ser identificadas utilizando-se novamente o algoritmo SIED. Dessa forma, a superposição das frentes pode revelar o grau de similaridade entre os dados. Embora a análise seja qualitativa, o processo de detecção automática de frentes tem caráter objetivo, ou seja, parâmetros fixos são pré-selecionados e determinam a presença das frentes.

A figura 3 apresenta as imagens de temperatura da superfície do mar (TSM) e os delineamentos das frentes oceânicas termais estimados a partir do algoritmo SIED.

## Conclusão

As frentes termais identificadas nos resultados da modelagem numérica apresentam alto grau de similaridade com as frentes termais identificadas nas imagens de satélites. Modelos numéricos são ferramentas poderosas que, quando bem inicializadas, permitem previsões bastante coerentes. Nesse contexto, o algoritmo SIED participa, tanto da fase preliminar do processo de modelagem, por meio da identificação das feições oceânicas para construção dos modelos de feições, como da fase de aferição dos resultados dos modelos numéricos.

## Referências Bibliográficas:

BELKIN, I. M. *Oceanic fronts in Large Marine Ecosystems. Final Report to the United Nations*

*Environment Programme*, 49 p., 2005.  
CALADO, L.; GANGOPADHYAY, A. & SILVEIRA, I. C. A. *Feature-oriented regional modeling and simulations (FORMS) for the western south Atlantic: Southeastern Brazil region. Ocean Modelling*, v.25, p. 48-64, 2008.

CALADO, L.; SILVEIRA, I. C. A.; GANGOPADHYAY, A. & CASTRO, B. M. *Eddy-induced upwelling off Cape São Tomé (22°S, Brazil). Continental Shelf Research*, 30, p. 1181-1188, 2010.

CASTRO, B. M. *Correntes e massas de água da plataforma continental Norte de São Paulo. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. Tese de livre-docência*, 248 p., 1996.

CAYULA, J. F. & CORNILLON, P. *Edge detection algorithm for SST images. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, v. 9(1), p. 67-80, 1992.

WALL, C. C.; MULLER-KARGER, F. E.; ROFFER, M. A.; HU, C.; YAO, W. & LUTHER, M. E. *Satellite remote sensing of surface oceanic fronts in coastal waters off west-central Florida. Remote Sensing of Environment*, v. 112, p. 223-236, 2008.

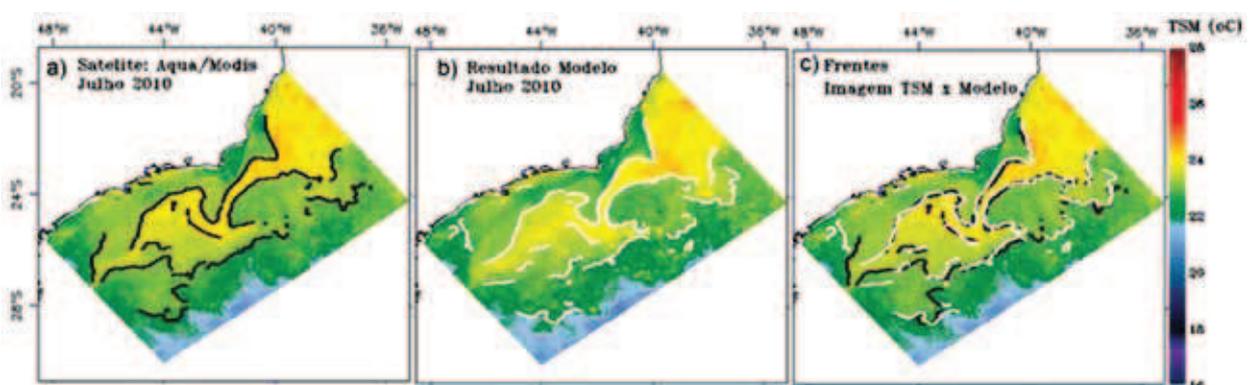


Figura 3 – Imagens de temperatura da superfície do mar (TSM) e os delineamentos das frentes oceânicas termais estimados a partir do algoritmo SIED; a) imagem de TSM do satélite Aqua obtida para o dia 11/jul/2010; b) campo de TSM estimado por modelagem numérica de um dia, representativa do dia 11/jul/2010; c) imagem de TSM do satélite Aqua obtida para o dia 11/jul/2010 e a superposição das frentes termais estimadas a partir da imagem do satélite Aqua e do campo de TSM estimado por modelagem numérica.