

Frentes Oceânicas: Plataforma Continental Sudeste Brasileira

Eduardo Negri de Oliveira ¹
Leandro Calado ¹
Ricardo Domingues ¹
Wandrey Watanabe ¹

¹Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM
Rua Kioto – 28930-000 – Cabo Frio - RJ, Brasil
{negri, lcalado, rdomingues, wandrey}@ieapm.mar.mil.br

Abstract. Oceanic fronts shape marine ecosystems, therefore front mapping and characterization are among the most important aspects of physical oceanography. The aim of this research is to automatically detect fronts and eddies from ocean colour satellite images. The algorithm SIED (single image edge detection, Cayula & Cornillon, 1992) were tuned to automatically delineate fronts associated with the Brazilian current and coastal waters using satellite-derived sea surface temperature and chlorophyll-a. Two additional changes were made to the original method. First, the minimum length for a valid front was increased from 10 to 25 pixels. This increased the spatial range in which front segments are considered part of the same feature. Second, the ratio of variance between the two pixel populations to the variance within the populations was changed from default 0.76 to 0.78 for this study. The results of the changes in the front detection algorithm appear to produce more realistic fronts for the selected area.

Palavras-chave: algorithms, south atlantic, remote sensing, algoritmos, atlântico sul, sensoriamento remoto.

1. Introdução

Frentes oceânicas são zonas relativamente estreitas que acentuam os gradientes horizontais das propriedades aquáticas (temperatura, salinidade, nutrientes, etc.) e separam grandes regiões com diferentes massas d'água ou diferentes estruturas verticais (estratificação). Frentes são geralmente descritas como descontínuas devido à suas naturezas abruptas, ocorrem em diversas escalas, desde poucos metros até milhares de quilômetros e podem ter vida breve (dias), embora a maioria das frentes são quase estacionárias e sazonalmente persistentes (Belkin et al., 2005).

Processos físicos variados podem formar diversas frentes, incluindo frentes estuarinas, frentes de maré, frentes de quebra de plataforma, frentes de ressurgência e frentes de correntes de contorno leste e oeste. A cada frente está associada uma determinada manifestação química, física e biológica. Geralmente, uma frente formada por uma determinada propriedade pode ser detectada por meio de outra propriedade. Por exemplo, frentes de temperatura são quase sempre associadas às frentes de salinidades (frentes termohalinas). Frentes termohalinas de mesoescala são associadas também às outras propriedades, tais como nutrientes, clorofila e turbidez. Simultâneas manifestações física, química e biológica da mesma frente são usualmente superpostas, embora um intervalo espacial relativamente pequeno pode ser observado entre as localizações da mesma frente em diferentes propriedades (Miller, 2004).

Imagens termais (temperatura da superfície do mar – TSM) e visíveis (clorofila-a, Chl-a) são atualmente uma das maiores fontes de observação oceanográfica. Nesse contexto, a detecção e mapeamento das frentes de mesoescala na plataforma continental brasileira tem sido considerado de fundamental importância em estudos precedentes (Mello, 2006; Neto et al., 2005). Entretanto, esses estudos envolvem uma análise de conjuntos de imagens por meio de interpretações manuais que demandam muito trabalho e tempo, além do caráter subjetivo estabelecido pelo intérprete (Mello, 2006; Neto et al., 2005). Portanto, é desejável substituir

ou complementar a interpretação manual por meio de ferramentas automáticas e sistêmicas para extração e delimitação das feições oceanográficas.

Há diversos algoritmos para detecção oceanográficas de frentes oceânicas. Esses algoritmos variam desde simples técnicas estatísticas para caracterizar o gradiente até técnicas mais complexas que utilizam agrupamento ou *cluster*, análises de semivariograma e análise de histograma (Cayula & Cornillon, 1992; Belkin et al., 2009). Um estudo comparativo entre a técnica de *cluster* e a técnica de histograma proposta por Cayula & Cornillon (1992), esta última também denominada de SIED (*single image edge detection*), demonstrou melhor desempenho da técnica SIED (Wall et al., 2008). Desde meados da década de 90, o algoritmo SIED tem sido largamente usado por vários grupos de pesquisas e é considerado como um dos mais robustos algoritmos para mapeamento de frentes oceânicas a partir de sensores ópticos e termais (Belkin et al., 2009; Wall et al., 2008).

Nesse estudo, o foco do trabalho reside na implementação e no ajuste dos principais parâmetros do algoritmo SIED, de tal forma que o desempenho do algoritmo para o mapeamento das frentes oceânicas da plataforma continental sudeste brasileira e águas costeiras adjacentes seja otimizado.

2. Metodologia de Trabalho

O algoritmo SIED opera em três níveis: imagem, janela e pixel. O nível imagem diz respeito ao mascaramento de nuvens e não é discutido no presente trabalho. No nível janela, a análise do histograma é efetuada sobre uma janela quadrada (32 x 32, 64 x 64 ou 128 x 128 pixels) que desloca-se ao longo de toda a imagem. A janela de 32 x 32 foi determinada como a mais adequada por Cayula e Cornillon (1992) para imagens com resolução espacial de 1 km. Parâmetros estatísticos extraídos dos pixels contidos na janela discriminam o grau de dispersão do histograma. Quando o histograma da janela for considerado bimodal, pixels localizados entre os dois picos do histograma são candidatos à frentes oceânicas. Um algoritmo de coesão é então aplicado para a distinção das duas populações detectadas. Alta coesão prediz que em um pixel próximo a frente, os pixels circundantes pertencem a mesma população. Finalmente, no nível pixel, uma função de seguimento de contorno é aplicada para conectar os pixels avaliados (pelo histograma) e confirmados (pela análise de coesão) como pixels localizados em regiões de frentes.

No algoritmo SIED original, a frente é identificada se a razão entre a variância entre as populações e a variância dentro de uma população é maior que 0,76; e a diferença entre o valor médio de duas populações presentes no histograma bimodal é maior que três *digital counts* (DC) — para o caso da imagem de TSM: $3 \text{ DC} = 0,375^\circ\text{C}$. No algoritmo original, o comprimento mínimo considerado pela função de seguimento de contorno é de 10 pixels.

No presente trabalho duas mudanças foram efetuadas. Primeiro, o comprimento mínimo estipulado pela função contorno foi expandido de 10 para 25 pixels, aumentando o intervalo espacial em que segmentos de frentes são considerados partes da mesma feição. Segundo, a razão entre a variância entre as populações e a variância dentro de uma determinada população presente em um histograma bimodal passou de 0,76 para 0,78. O algoritmo foi testado sobre imagens de TSM e clorofila-a (resolução espacial 1 km) coletadas pelo sensor MODIS a bordo do satélite Aqua e adquiridas junto ao grupo de *Ocean Color* (<http://seadas.gsfc.nasa.gov/>). O algoritmo SIED foi implementado no ambiente de programação ENVI/IDL, assim como o processamento das imagens aqui utilizadas.

3. Resultados e Discussão

As Figuras 1 e 2 abaixo mostram as frentes de clorofila-a e TSM, respectivamente, estimadas a partir de imagens MODIS e do algoritmo SIED com janela de 32 x 32 pixels. A imagem de clorofila-a é resultado da composição de uma seqüência de três imagens

correspondentes aos dias 07,08 e 09/Fev/2010, busca-se com isso minimizar a cobertura de nuvens. A imagem de TSM corresponde ao dia 30/Jul/2010.

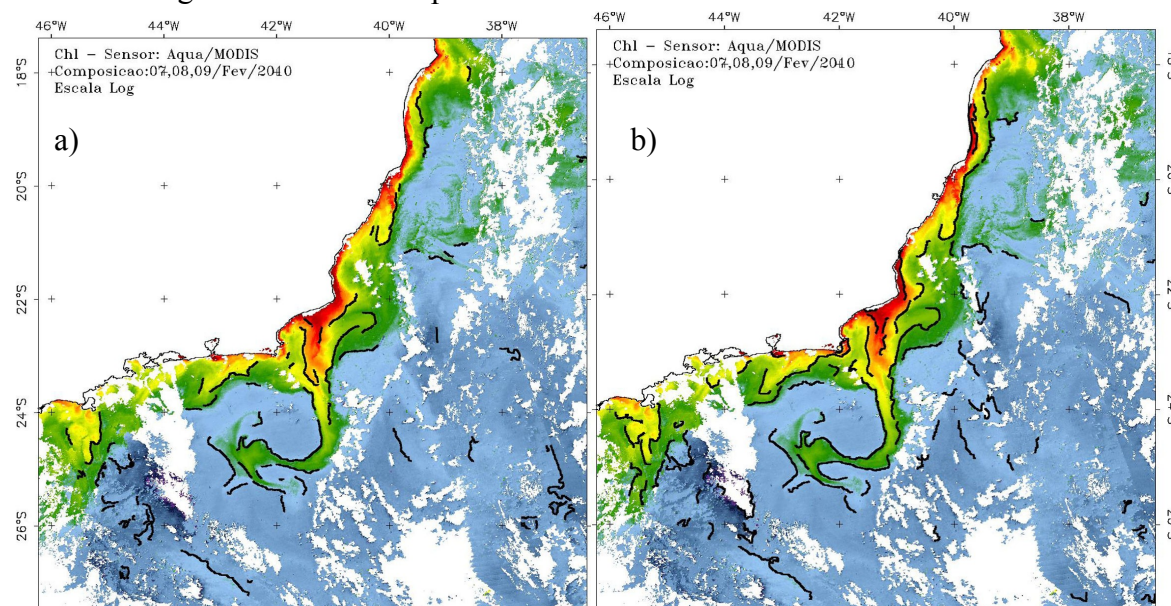


Figura 1 – Frentes de clorofila-a estimadas a partir de uma composição de imagens MODIS dos dias 07,08 e 09/Fev/2010 e o algoritmo SIED com janela de 32x32 pixels: a) algoritmo SIED original e b) limiares alterados conforme descrito no texto.

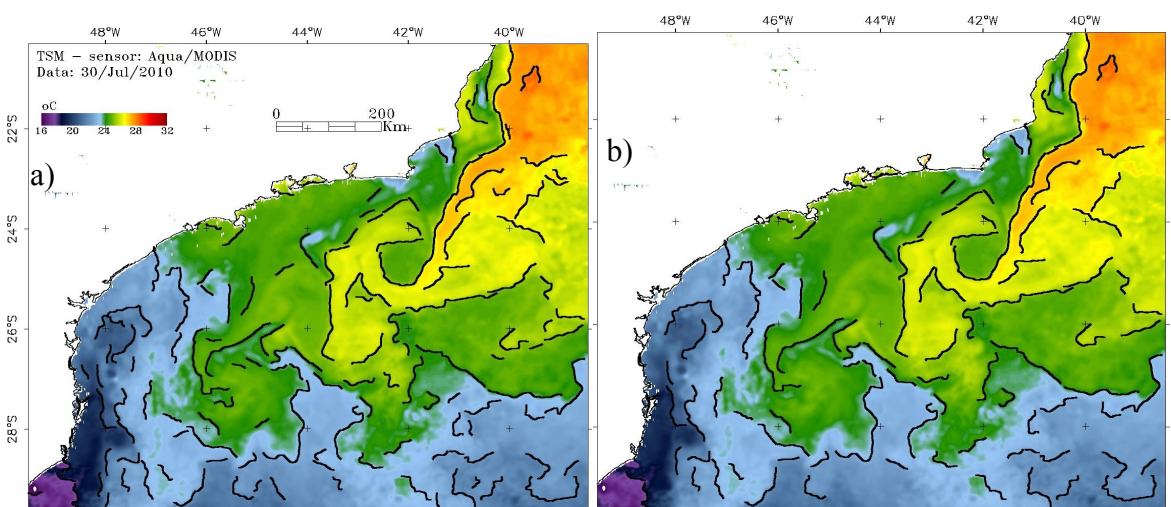


Figura 2 – Frentes de TSM estimadas a partir de uma imagem MODIS do dia 30/Jul/2010 e o algoritmo SIED com janela de 32x32 pixels: a) algoritmo SIED original e b) limiares alterados conforme descrito no texto.

A comparação entre as frentes de clorofila-a detectadas pelo algoritmo SIED original (Figura 1a) e o SIED com limites alterados (Figura 1b) evidencia uma significativa melhora no rastreamento das frentes de clorofila próximas a região costeira. Um desempenho mais satisfatório também é observado entre as frentes de TSM estimadas pelo algoritmo original (Figura 2a) e o algoritmo com limites alterados (Figura 2b), ou seja, esse último com melhor desempenho para a região considerada. Nesse caso, o aumento do comprimento mínimo estipulado pela função contorno de 10 para 25 pixels permitiu maior continuidade das frentes. Se por um lado o limiar de 0,78 (razão entre as variâncias) flexibiliza a possibilidade de detecção de frentes em relação ao valor de 0,76, por outro, o limite mínimo estipulado pela

função contorno, 25 pixels, remove segmentos com pouca abrangência espacial, eliminando ruídos indesejáveis.

Para efeito didático, apenas 2 pares de imagens são aqui apresentadas, porém a avaliação do algoritmo original e do algoritmo com parâmetros alterados foi efetuada sobre um conjunto de aproximadamente 10 imagens de TSM e clorofila. Os resultados obtidos com o algoritmo SIED alterado produz contornos de frentes mais realísticos, principalmente nas regiões costeiras. Nas regiões costeiras há grande interferência continental com fortes implicações biológicas, ocasionando frequentemente frentes associadas à parâmetros biológicos, tal como clorofila-a, e que podem não estar associadas à variação de TSM. A complementação de frentes detectadas a partir de dados coletados por diferentes sensores permite melhor discernimento dos processos localmente pertinentes.

Embora não apresentado no presente trabalho devido ao caráter ainda não conclusivo, uma base de dados de mais de 10 anos de imagens de TSM e clorofila-a (sensores MODIS e SeaWiFS) estão sendo processadas e espera-se identificar as principais frentes que permeiam a plataforma continental sudeste brasileira e suas variabilidades sazonais em função das principais forçantes oceanográficas e meteorológicas.

4. Conclusão

Frentes de TSM e clorofila-a são claramente identificadas e delineadas usando técnicas de processamento automático de imagens aplicadas a imagens de TSM e clorofila-a. Alterações dos limiares originais do algoritmo SIED permitiu detecção de frentes mais realistas sobre a plataforma continental sudeste brasileira, principalmente junto às regiões costeiras a partir de imagens de clorofila-a. Particularmente, o aumento do comprimento mínimo estipulado pela função contorno de 10 para 25 pixels fortifica a remoção de ruídos indesejáveis, minimizando o número de frentes com pouca abrangência espacial. De maneira geral, tanto as frentes de ressurgências costeiras como as frentes associadas à Corrente do Brasil são capturadas pelo algoritmo SIED.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Estudos Aquáticos (Fundespa), a Petrobrás S/A e ao Projeto Rede de Modelagem e Observação Oceanográfica (REMO) que apóiam o grupo de pesquisas da Divisão de Projetos Marinhos do Depto de Engenharia Oceânica do IEAPM.

Referências Bibliográficas

- Belkin, I.M.; **Oceanic fronts in Large Marine Ecosystems**. Final Report to the United Nations Environment Programme, 2005. 49 pp.
- Belkin, I.M.; Cornillon, P.C.; Sherman, K. Fronts in Large Marine Ecosystems. **Progress in Oceanography**, 2009. v.81, pp.223-236
- Cayula, J.F.; Cornillon, P.; Edge detection algorithm for SST images. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v.9 (1), p.67-80, 1992.
- Mello, W.L.F. Observação de Feições Oceanográficas de Superfície na Costa Sudeste Brasileira Através de Imagens Termais do Sensor AVHRR/NOAA. 2006. 165 p. **Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)** - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.
- Neto, A.S.; Soares, V.P.; Lima, J.A.M.; Ribeiro, C.A.A.S.; Griffith, J.J. (2005). Análise de imagens termais AVHRR utilizando transformada de Fourier para determinação de padrões em vórtices e meandros. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais XII SBSR**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3671-3678.
- Miller, P.; Multi-spectral front maps for automatic detection of ocean colour features from SeaWiFS. **Int. J. Remote Sensing**, 2004, v.25,n.7-8, p.1437-1442.
- Wall, C.C.; Muller-Karger, F.E.; Roffer, M.A.; Hu, Chuanmin; Yao, W.; Luther, M.E. Satellite remote sensing of surface oceanic fronts in coastal waters off west-central Florida. **Remote Sensing of Environment**, 2008, v.112, pp.223-236.