

Distinção Quantitativa de Feições Oceanográficas Observadas nas Imagens Termiais a partir do Operador de Fragmentação Assimétrica: indicações preliminares.

ARCILAN TREVENZOLI ASSIREU^{1,2}
JOÃO ANTÔNIO LORENZZETTI²
CARLOS EDUARDO SALES ARAÚJO²
REINALDO ROBERTO ROSA²

¹IOUSP/INPE – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

²INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Caixa Postal 515 - 12201-097 - São José dos Campos - SP, Brasil
Arcilan, Loren, sales@ltid.inpe.br
rosa@lac.inpe.br

Abstract Remote Sensing techniques have had an impressive progress in the capacity of data analysis for scientific and practical applications, but this is dependent on our capability of handling increasingly large quantities of digital data. Part of this problem is associated with high spatial resolution of the products, allowing the detection and analysis of very fine features. The quantitative characterization of such fine resolution features demand, however, the development of newer and more efficient digital statistical analysis methods. In this paper we investigate the effectiveness of the Asymmetric Fragmentation Operator, developed by Rosa et al. (1999) for the quantitative characterization of oceanic features present in thermal AVHRR IR images. The first results obtained indicate some promise in distinguishing features according to their structural complexities, but the present used algorithm is only robust to clearly separate thermal fronts from oceanic current meanders after filter application.

Keywords: Remote Sensing, Asymmetric Fragmentation Operator, AVHRR.

1 Introdução

O Sensoriamento Remoto vem oferecendo condições de obtenção de dados numa quantidade cada vez maior. Isto, somado ao aumento da resolução espacial dos sensores e conseqüente capacidade de detecção de estruturas cada vez mais finas, indicam a necessidade do desenvolvimento de técnicas que possibilitem uma distinção quantitativa das feições observáveis nos produtos de satélite. Os padrões de temperatura da superfície do mar (TSM), variando em escalas espaciais de local até global, e em escalas temporais de horas até meses ou anos, são de interesse para pesquisadores de diferentes áreas, principalmente os meteorologistas e os oceanógrafos. Estas imagens apresentam padrões representativos da complexidade advinda da

alta variabilidade termal observada, sobretudo em regiões marcadas pela presença de vórtices, frentes térmicas, meandros etc. Este artigo tem como objetivo a investigação das potencialidades de aplicação do Operador de Fragmentação Assimétrica, desenvolvido por Rosa *et al.* (1999), na tentativa de caracterização quantitativa de feições oceanográficas observáveis nas imagens termais. Resultados preliminares indicam a capacidade do operador em distinguir as feições segundo suas complexidades estruturais, mas mostrou-se pouco robusto em fazer a distinção entre frentes termais e meandros.

A Figura 1 ilustra o regime oceânico típico do Atlântico Sudoeste onde percebe-se a presença de importantes feições oceanográficas como: vórtices, frentes termais, ressurgências, meandramentos e etc. Esta abundância de feições faz com que estas imagens apresentem um elevado padrão de complexidade.

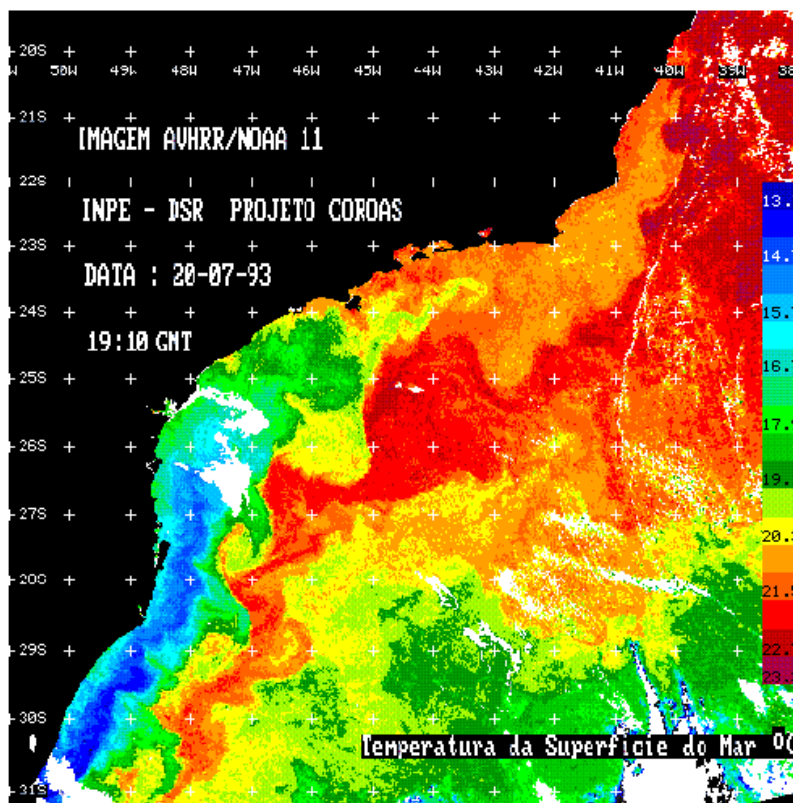


Figura 1 – Imagem TSM mostrando as feições típicas observadas na costa brasileira.

2 Materiais e Métodos

Foi utilizada neste estudo a imagem de TSM da região oceânica adjacente a Cabo Frio, de 23 de outubro de 1997 (Figura 2-a). Nesta região são normalmente observados vórtices e meandros semi-permanentes e frentes oceânicas, que apresentam contrastes térmicos bem definidos na imagem de TSM.

Como o sinal contido na imagem de TSM possui um alto conteúdo energético em altas frequências (feições da ordem de 1 a 10 km), foi utilizado um filtro baseado na transformada de ondeleta (wavelet) do tipo daubechies-4 de ordem 3 (Akansu e Haddad, 1992) para a remoção destas frequências.

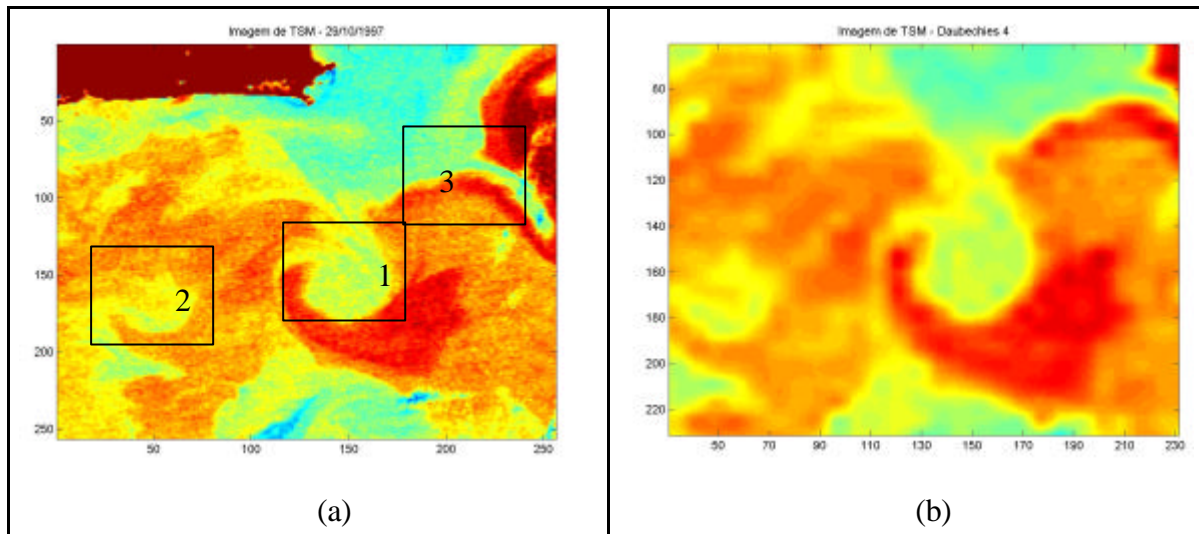


Figura 2 – Subregiões sobre as quais o operador foi aplicado; a) original, b) filtrada.

A imagem filtrada pode ser observada na Figura 2-b. Na Figura 2-a são identificadas, através dos retângulos, as sub-regiões sobre as quais o operador foi aplicado, região 1: vórtice; região 2: meandro e região 3: frente termal.

As análises foram feitas sobre as subregiões originais e filtradas, o que possibilitou avaliar sobre qual destes produtos o operador melhor se aplica.

O Operador de Fragmentação Assimétrica: O Operador de Fragmentação Assimétrica (F_A) (Rosa *et al.*, 1999), é um parâmetro quantificador de assimetrias em um campo gradiente, o que possibilita a quantificação do grau de complexidade local, que pode ser um indicador de padrão espacial. No caso de imagens, este parâmetro permite a caracterização dos principais padrões, levando assim à identificação de estruturas dominantes ou mais importantes, e ao mesmo tempo indicando suas complexidades relativas. O Operador de Fragmentação Assimétrica (F_A) é um operador computacional que opera sobre uma matriz M , transformando esta em um campo de triangulação T_A , com L pontos conectados por I linhas. Formalmente, a quantidade de fragmentação assimétrica, F_A , é dado por:

$$F_A = (I-L)/L \quad (I \ L > 0) \quad (1)$$

Os passos de aplicação do operador são os seguintes:

- 1) a matriz é visualizada através de envelopes de superfície (lado esquerdo da Figura 3), contornos de intensidade (lado direito da Figura 3) ou através de imagens;
- 2) um campo gradiente para esta matriz é gerado com V vetores, caracterizando a variação espacial da intensidade pixel a pixel;
- 3) cada par de vetores simétricos do campo gradiente é removido dentro de uma tolerância (), gerando o campo de assimetria da matriz M , com L vetores;
- 4) cada vetor L é então representado pelo ponto médio da respectiva grade, gerando um campo escalar bidimensional, com L pontos;

- 5) a Triangulação de Delauney é então aplicada sobre estes L pontos, gerando assim um campo de triangulação com I linhas;
- 6) o parâmetro de fragmentação $F_A = (I-L)/L$ é então calculado.

3 Resultados

O Operador de Fragmentação Assimétrica (F_A) foi aplicado sobre as sub-regiões 1,2 e 3, respectivamente: vórtice, meandro e frente térmica. As matrizes associadas a estas feições foram separadas em dimensões 80 x 80, o que segundo Rosa *et al.* (1999) leva a uma incerteza de 0,0003 a um nível de significância de 95% no valor de F_A . A Figura 3 ilustra a forma estrutural do sinal de TSM para o vórtice analisado. As Figuras 4 e 5 descrevem a forma estrutural do sinal de TSM para o meandro e a frente termal, respectivamente.

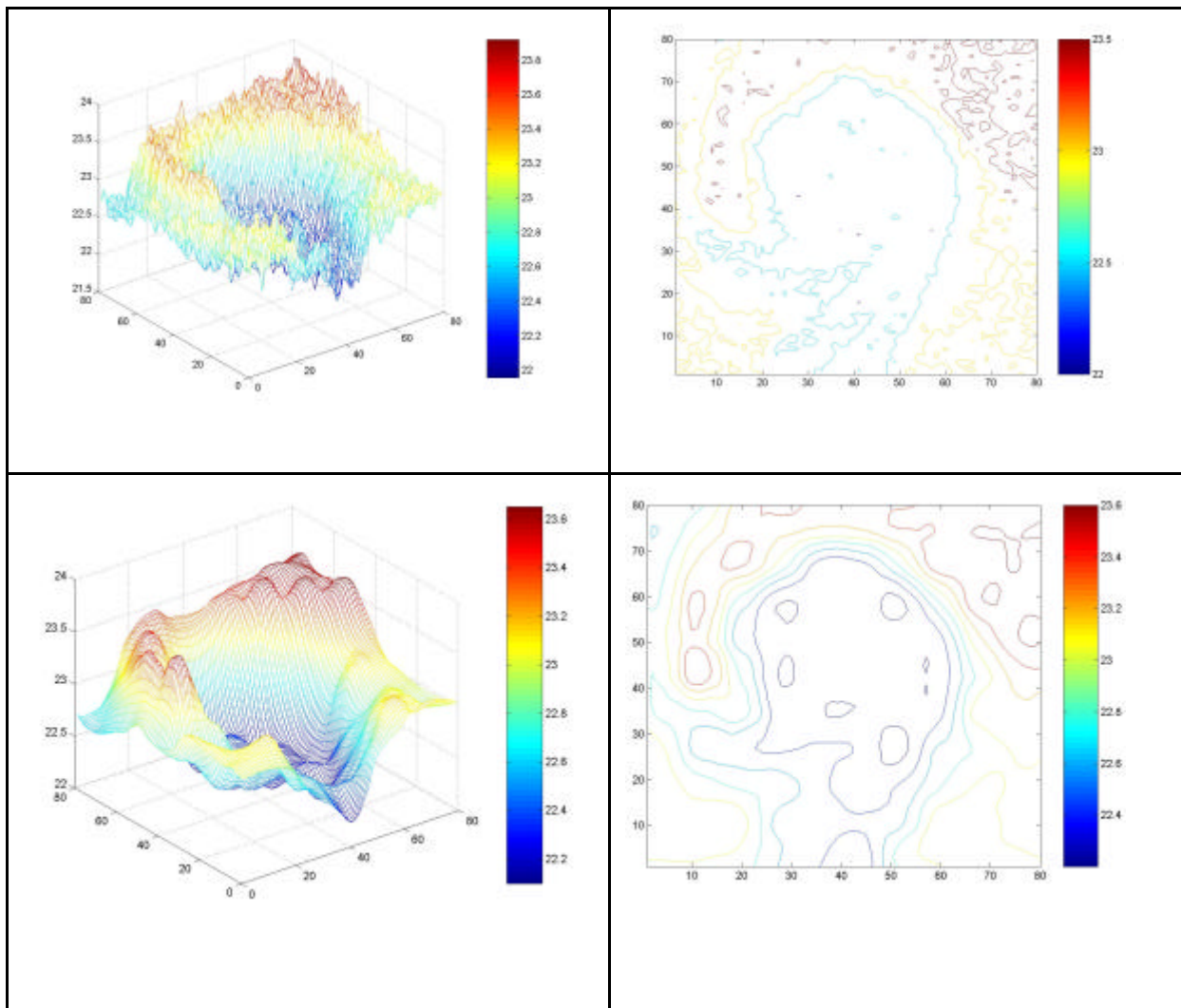


Figura 3 – Envelope de superfície da distribuição de TSM (esquerda) e campo de contorno de intensidade (direita) relativo ao vórtice original (linha superior) e filtrado (linha inferior).

A partir destas figuras (Figuras 3, 4 e 5), sobretudo pela inspeção dos campos de contorno de intensidade, observa-se que tanto para a imagem original quanto para a filtrada, o vórtice apresenta-se como uma estrutura mais coerente que o meandro que é mais coerente que a frente termal. Esta ordem de coerência, compatível com o que se esperava baseado em conhecimentos sobre estas feições oceanográficas, foi confirmado pelos valores de F_A obtidos a partir da imagem filtrada.

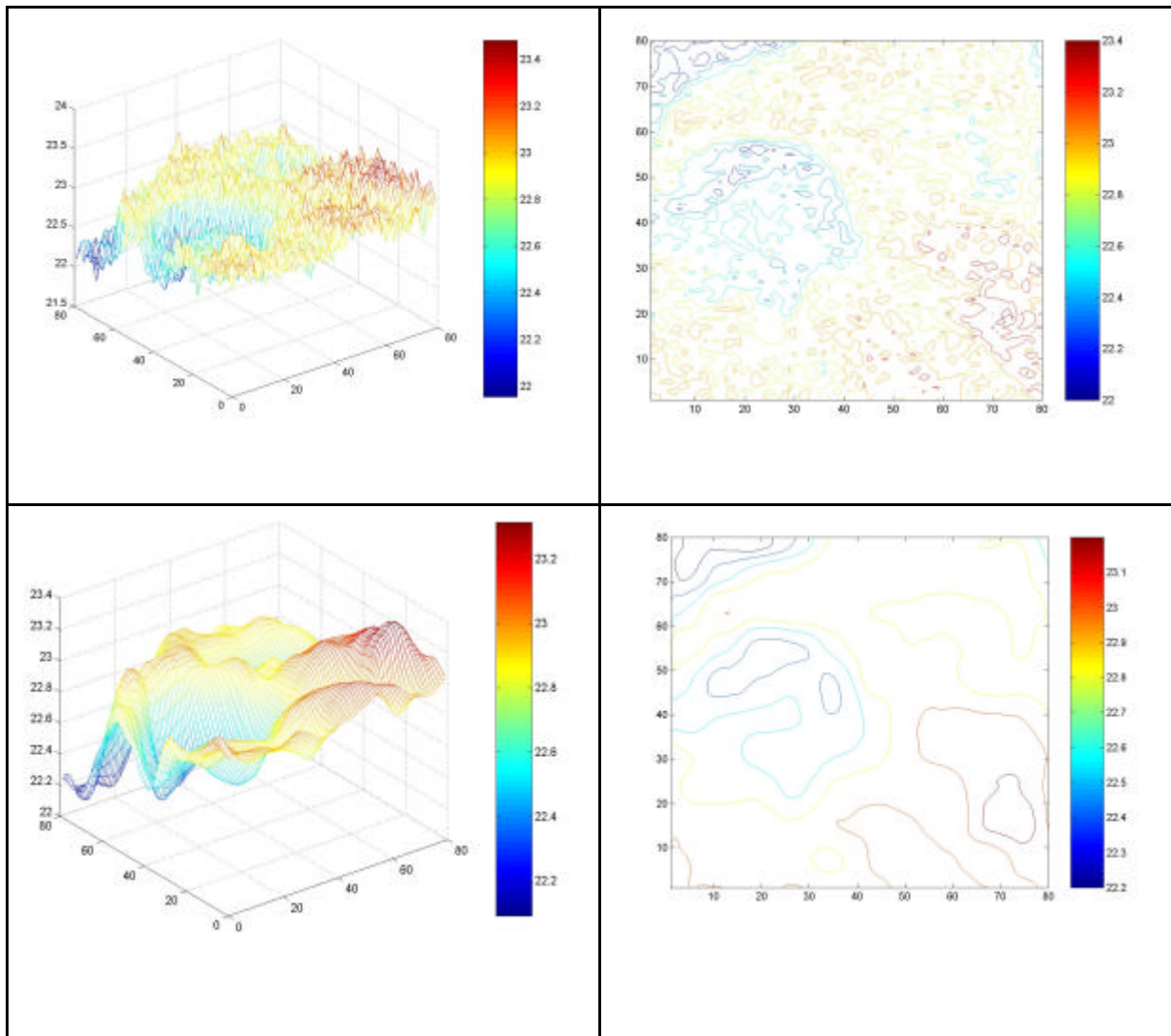


Figura 4 – Envelope de superfície da distribuição de TSM (esquerda) e campo de contorno de intensidade (direita) relativo ao meandro original (linha superior) e filtrado (linha inferior).

A Tabela 1 traz os valores do Parâmetro de Fragmentação Assimétrica para as estruturas analisadas em sua forma original e após passarem pelo filtro (índice f). O último algarismo é o duvidoso. Os valores estão expressos em escala decibel ($10 \times \log_{10}(fa)$) o que aumenta o potencial de separação numérico do F_a .

Tabela 1 – Valores do parâmetro F_A em escala decibel para as estruturas analisadas. O último algarismo possui uma incerteza de +/- 3 (nível de significância de 95%).

| | vórtice | meandro | frente | Vórticef | Meandrof | frentef |
|-------|---------|---------|--------|----------|----------|---------|
| F_A | 3.0008 | 3.0033 | 3.0036 | 2.9984 | 3.0011 | 3.0026 |

Pela Tabela 1 observa-se que o F_A mostrou-se capaz de diferenciar numericamente o vórtice das outras feições, mas a diferenciação entre meandro e frente termal somente foi possível após a aplicação do filtro sobre estas feições. O menor valor de F_A observado para o vórtice é compatível com o esperado, pois esta é uma medida da complexidade estrutural, e o vórtice, como sabido, é entre as três feições investigadas a que apresenta a estrutura do campo termal mais coerente em termos estruturais.

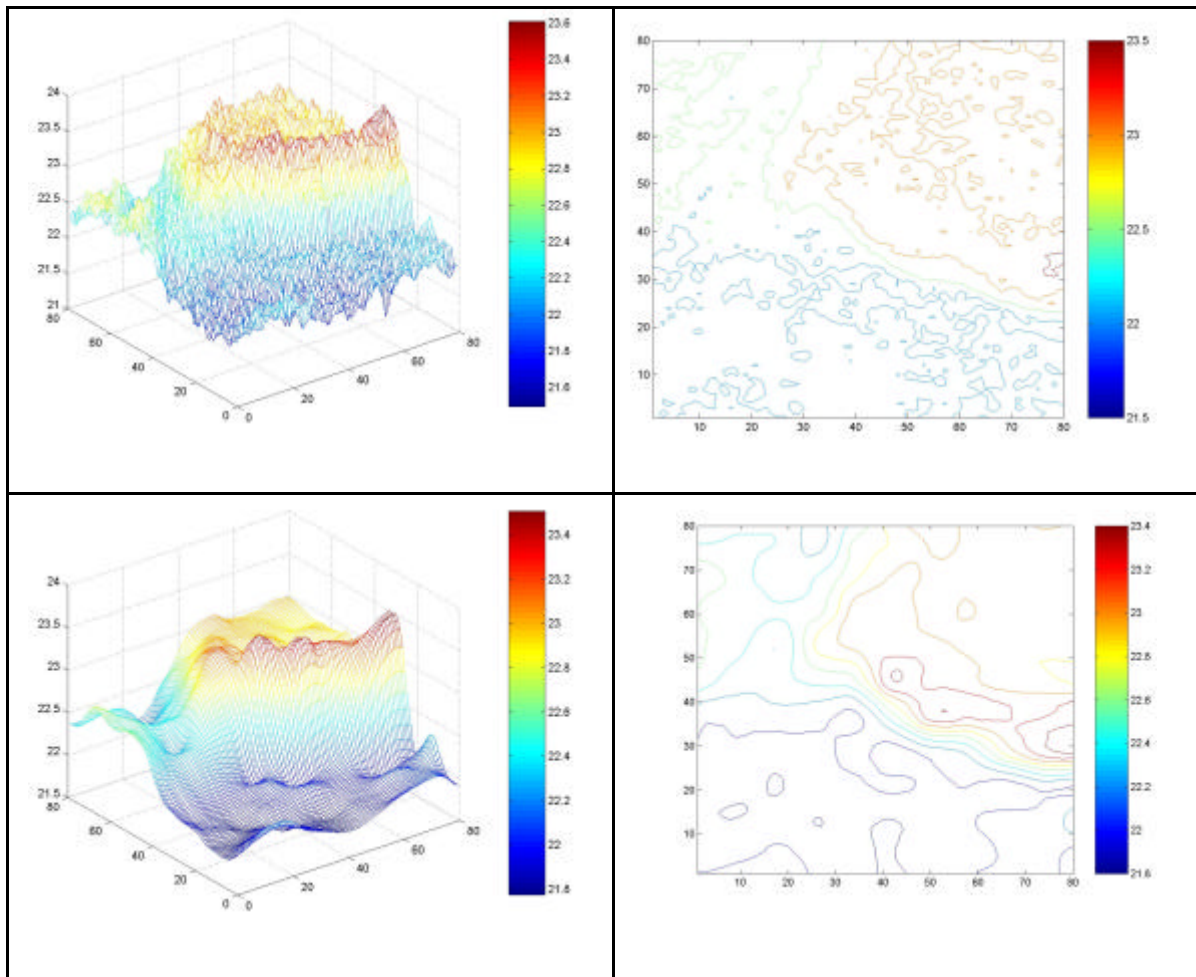


Figura 4 – Envelope de superfície da distribuição de TSM (esquerda) e campo de contorno de intensidade (direita) relativo a frente termal original (linha superior) e filtrado (linha inferior).

A comparação entre os valores de F_A obtidos a partir de análises sobre a imagem original e a filtrada, indica que a aplicação do filtro permitiu a obtenção de valores para F_A que representam uma escala crescente da complexidade das estruturas analisadas: vórtice, meandro e frente, nesta ordem. Os valores de F_A somente conseguiram distinguir de forma confiável o padrão associado aos meandros daqueles associados à frente termal após a aplicação do filtro.

4 Conclusão

O Operador de Fragmentação Assimétrica (F_A) foi aplicado a uma imagem de TSM original e sobre a mesma imagem após removidas as altas frequências. Este operador mostrou-se eficiente em distinguir os vórtice das demais estruturas, porém sua potencialidade em distinguir meandros de frentes termais somente foi verificada após estas feições passarem por filtragens. Ressalta-se a importância da aplicação do filtro para que os valores de F_A obtidos para as matrizes filtradas reproduzissem o padrão de complexidade das estruturas analisadas que em ordem crescente espera-se que sejam: vórtice, meandro e frente termal. Portanto, embora preliminares, os resultados indicaram que este operador F_A pode ser útil em estudos que visem desenvolver métodos automatizados de caracterização de estruturas, porém ressalta-se a necessidade de estudos mais amplos que visem verificar de forma definitiva a robustez deste operador. Este operador vem sendo aplicado também em caracterizações das estruturas geomorfológicas de reservatórios e na caracterização de padrões de nuvens. Estes resultados serão comunicados dentro em breve.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece a FAPESP (Ref. 98/15413-7), por prover recursos ao programa de doutorado.

Referências

- Akansu, A.N., Haddad, R.A **Multiresolution Signal Decomposition: transforms, subbands and wavelets**. London, Academic Press, 1992.
- Rosa, R.R.; Sharma, A.S.;Valdivia, J.A. Characterization of Asymmetric Fragmentation patterns in Spatially Extended Systems. **Journal of Modern Physics**, v.10, n.1, p. 147-163, 1999.