

**INFLUÊNCIA DO VENTO E DA INTERAÇÃO ONDA-CORRENTE NA VISUALIZAÇÃO DA FRENTE
TERMAL DE SUPERFÍCIE DA CORRENTE DO BRASIL EM IMAGENS SAR: RESULTADOS
PRELIMINARES**

Macedo¹, C. R.; Lorenzetti¹, J. A; Calado², L.

¹*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Av. dos Astronautas, 1758 – Jd. da Granja – São José dos Campos – SP CEP 12227-010
{crmacedo, loren}@dsr.inpe.br*

²*Marinha do Brasil - Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira – IEAPM
Rua Kioto, 253 - Praia dos Anjos Arraial do Cabo – RJ CEP 28930-000
lcalado@ieapm.mar.mil.br*

RESUMO

Simulações de imagens SAR foram realizadas utilizando o software M4S com o objetivo de entender a influência da variação do vento e da interação onda-corrente sobre a visualização da frente térmica da Corrente do Brasil (CB). Foram analisados: a) o caso de um fluxo convergente ou divergente e com o vento na direção *upwind* (i.e. na direção contra o feixe de radar); e b) um gradiente de vento associado à diferença de temperatura da superfície mar (TSM) presente na região frontal da corrente. A banda X mostrou-se mais propícia para a visualização dessas feições em imagens geradas por Radares de Abertura Sintética (SAR). Um aumento na velocidade do vento resulta numa redução de contraste na imagem. Assim, regiões frontais onde a velocidade do vento é alta e o gradiente de corrente é baixo, a visualização de frentes térmicas fica seriamente comprometida.

Palavras chave: simulação de imagens SAR, frentes térmicas, Corrente do Brasil, M4S.

INTRODUÇÃO

A visualização das frentes térmicas em imagens SAR pode ser causada pela interação de ondas com correntes superficiais, pelo acúmulo de materiais surfactantes nas regiões de convergência de corrente, e por variações na velocidade do vento, devido à instabilidade atmosférica associada a fortes gradientes de TSM (Lyzenga et al., 2004). Entretanto, na costa brasileira, frentes térmicas nem sempre são visíveis em imagens SAR. Tal fato motiva o desenvolvimento de pesquisas que explorem mecanismos influentes na modulação do sima-zero (σ_0) em regiões caracterizadas por sistemas frontais oceânicos. De acordo com Johannessen (2005), devido à complexa interação entre os processos físicos que permitem a visualização dessas feições nas imagens, aliado a escassez de dados *in situ* (como vento superficial, ondas curtas de superfície, etc.), os modelos diretos de simulação de imagens SAR são vistos como uma alternativa a estas abordagens. Neste trabalho o modelo de simulação utilizado será o M4S, baseado no Modelo Melhorado de Superfície Compósita desenvolvido em Romeiser et al. (1997) e Romeiser e Alpers (1997).

OBJETIVOS

Analisar a influência da variação do vento e da interação onda-corrente (pelo fenômeno de divergência\convergência) sobre a modulação do σ_0 em regiões frontais, avaliando seus efeitos na visualização de frentes térmicas da CB em imagens SAR.

METODOLOGIA

O software M4S, que se baseia em um modelo numérico de simulação de imagens SAR da superfície do oceano, inicia com a especificação dos campos de corrente superficial e de vento do cenário a ser estudado. Esses dados de entrada são convertidos em um espectro de ondas variável no espaço, utilizando a função fonte de Thompson e Gasparovic (1986) e o espectro de altura de onda de Romeiser et al. (1997). O espectro de onda é utilizado, conjuntamente com os parâmetros do sistema radar, para gerar as matrizes de σ_0 .

Foram elaborados dois testes com o modelo M4S: O primeiro avaliou como a variação da velocidade do vento em uma região frontal modelaria o σ_0 . Para isso foram simulados dois campos simples de vento, com velocidades iniciais de 5 m.s^{-1} e 10 m.s^{-1} (Figura 1a e 1b, respectivamente). A variação na velocidade do vento escolhida para a representação da região frontal da CB ($0,74 \text{ m.s}^{-1}$) foi obtida através da relação dada por O'Neill et al. (2010):

$$V' = \alpha_v T' \quad (1)$$

sendo V' a mudança na velocidade do vento, T' a mudança na TSM e α_v o coeficiente acoplado ($0,43 \text{ m.s}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ para o Atlântico Sul). O valor escolhido para T' foi de $1,71\text{°C}$; com base em Lorenzetti et al. (2009), que acharam $0,3\text{°C.km}^{-1}$ como o gradiente de temperatura médio associado a frente da CB, e $5,7 \text{ km}$ como o comprimento médio dessa região frontal. Foram feitas simulações para as bandas P ($0,44\text{GHz}$), C ($5,3\text{GHz}$) e X ($9,6\text{GHz}$), com polarização VV, ângulo de incidência de 30° , e velocidade de vento inicial de 5 m.s^{-1} e 10 m.s^{-1} , considerando as direções *crosswind*, *downwind* e *upwind* (i.e. vento perpendicular, a favor e contra o feixe de radar, respectivamente), e um campo de corrente nulo.

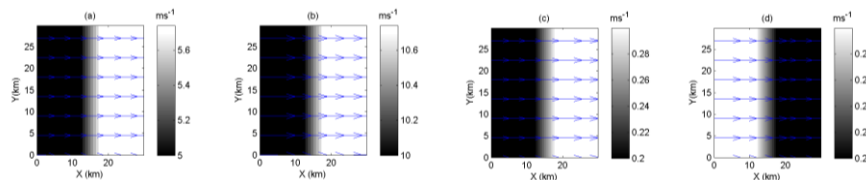


Figura 1 - (a) (b) campo de vento com velocidade inicial de 5 m.s^{-1} e 10 m.s^{-1} , respectivamente, a intensidade do vento é representada em nível de cinza e a direção do vento pelos vetores azuis; (c) (d) campo de corrente representando uma região de divergência e convergência, respectivamente, a intensidade da corrente é representada em nível de cinza e a direção do vento pelos vetores azuis.

O segundo teste investigou o impacto da interação onda-corrente na visualização de frentes térmicas. Assim, foram preparados dois campos simples de corrente representando uma região de divergência e uma de convergência (Figura 1c e 1d, respectivamente). Uma vez que a divergência\convergência na região frontal da CB é pequena, o valor adotado foi de $\pm 1,75 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, positivo para o primeiro campo e negativo para o segundo; resultando em uma variação de $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ na velocidade da corrente. As simulações foram feitas com os mesmos parâmetros do sistema sensor do teste anterior, para as direções *cross-current*,

down-current e *up-current* (i.e. corrente perpendicular, a favor e contra o feixe de radar, respectivamente), adotando um vento constante de 5m.s^{-1} com direção *upwind*.

Foram selecionados transectos paralelos ao gradiente de corrente e de vento nas imagens simuladas, esses perfis foram normalizados para chegar a modulação do σ_0 :

$$\delta\sigma/\sigma_{\text{médio}} = (\sigma - \sigma_{\text{médio}})/\sigma_{\text{médio}} \quad (2)$$

sendo que σ é o sigma-zero em um ponto do perfil e $\sigma_{\text{médio}}$ é o sigma-zero médio do perfil.

RESULTADOS

As Figuras 2a a 2f apresentam a modulação do σ_0 causada pelo vento. A banda X apresentou a maior modulação de σ_0 , enquanto que a banda P a menor modulação. Apesar da variação da velocidade do vento ser a mesma ($0,74\text{m.s}^{-1}$ ao longo da frente), as modulações encontradas para velocidade inicial de 10m.s^{-1} foram mais baixas (máximo de 7%) em relação à velocidade de 5m.s^{-1} (máximo de 17%). Todas as bandas apresentaram modulações semelhantes para as direções *up* e *downwind*. As exceções consistiram de uma maior modulação do σ_0 para direção *crosswind* na banda P, com ventos de 5m.s^{-1} , e na banda X, com ventos de 10m.s^{-1} . As diferenças nas modulações de σ_0 são maiores entre bandas que entre direções de vento.

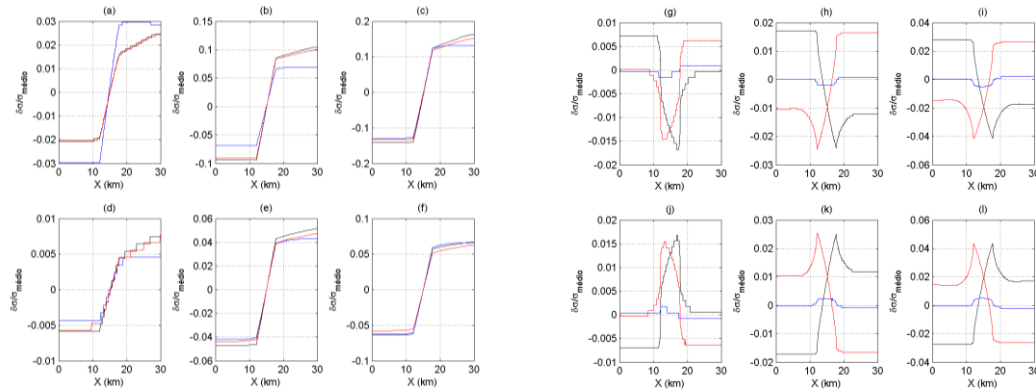


Figura 2 – Modulação do sigma zero (eixo y) causada pela variação do vento e pela interação onda-corrente para um ângulo de incidência de 30° e polarização VV ao longo do transecto escolhido (eixo x). (a) (b) (c) vento inicial de 5m.s^{-1} para banda P, C e X, respectivamente; (d) (e) (f) mesmo que anterior para vento inicial de 10m.s^{-1} , linhas preta para direção *upwind*, azul para *crosswind* e vermelha para *downwind*; (g) (h) (i) resultados para divergência (P, C e X, respectivamente), (j) (k) (l) resultados para convergência, linhas preta para direção *up-current*, azul para *cross-current* e vermelha para *down-current*.

Nas Figuras 2g a 2l são apresentados os resultados relativos à modulação do σ_0 devido interação onda-corrente. Houve maior modulação para a banda X, e menor para P. A visada *cross-current* apresentou as menores modulações. As modulações encontradas para as direções *up* e *down-current* apresentaram valores próximos, exceto para a banda X, sob divergência, que apresentou modulação maior na direção *down-current*. A direção *cross-current* não apresentou um pico de modulação definido. Comparados por bandas, os valores em módulo das modulações encontradas para os casos de divergência e convergência foram similares, sendo exceção a direção *up-current* da banda X, com menor modulação para o caso de divergência. As modulações devido à interação onda-corrente foram menores (max. de 5%) em comparação às modulações relacionadas a variação do vento (max. de 17%).

CONCLUSÕES

Para as condições de corrente, vento e direção de observação analisadas, os resultados obtidos a partir das simulações realizadas com o modelo M4S e com condições típicas associadas à CB, indicam que a banda X, por apresentar as maiores modulações de σ_0 , é a mais propícia para a visualização da região frontal dessa corrente nas imagens SAR. A direção *cross-current* se mostrou pouco indicada para visualização dessas feições quando o fenômeno interação onda-corrente é o mecanismo dominante. Quando a modulação causada pelo vento é dominante, as diferentes direções do vento não mostraram impactos consideravelmente diferentes na modulação do σ_0 . Valores mais altos de vento podem, entretanto, mascarar a visualização das frentes nesse tipo de imagem.

As modulações baixas encontradas para a interação onda-corrente estão associadas ao baixo valor de convergência/divergência da corrente ($\pm 1,75 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$) assumido como típico da região frontal da CB, indicando que nessa região, para velocidades típicas de vento ($\sim 5 \text{ms}^{-1}$), e condições assumidas nas simulações, a visualização das frentes térmicas é em grande parte determinada pela modulação causada pela variação da velocidade do vento. Assim, para as regiões frontais analisadas, com baixos valores de convergência de corrente, suas visualizações nas imagens SAR ficam comprometidas para altas velocidades de vento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- JOHANNESSEN, J. A.; KUDRYAVTSEV, V.; AKIMOV, D.; ELDEVIK, T.; WINTHER, N. & CHAPRON, B. 2005. On radar imaging of current features: 2. Mesoscale eddy and current front detection. *Journal of Geophysical Research*. 110:1-14.
- LYZENGA, D. R.; MARMORINO, G. O. & JOHANNESSEN, J. A. 2004. Ocean currents and current gradients. In: JACKSON, C. R.; APEL, J. R. *Synthetic aperture radar marine user's manual*. Washington DC: NOAA.
- LORENZZETTI, J. A.; STECH, J. L.; MELLO FILHO, W. L. & ASSIREU, A. T. 2009. Satellite observation of Brazil Current inshore thermal front in the SW South Atlantic: Space/time variability and sea surface temperatures. *Continental Shelf Research*. 29:2061-2068.
- O'NEILL, L. W.; CHELTON, D. B. & ESBENSEN, S. K. 2010. The effects of SST-induced surface wind speed and direction gradients on midlatitude surface vorticity and divergence. *American Meteorological Society*. 23(2):255–281
- ROMEISER, R.; ALPERS, W. & WISMANN, V. 1997. An improved composite surface model for the radar backscattering cross section of the ocean surface 1. Theory of the model and optimization/validation by scatterometer data. *Journal of Geophysical Research*. 102:25237-25250.
- ROMEISER, R. & ALPERS, W. 1997. An improved composite surface model for the radar backscattering cross section of the ocean surface 2. Model response to surface roughness variations and the radar imaging of underwater bottom topography. *Journal of Geophysical Research*. 102:25251-25267.
- THOMPSON, D.R. & GASPAROVIC, R.F. 1986. Intensity modulation in SAR images of internal waves. *Nature*. 320:345-348.