

Detecção de Alvos na Superfície do Mar em Imagens SAR Orbitais – Área: Rio de Janeiro

Rafael L. Paes^{1,2}, João A. Lorenzetti², Douglas F. M. Gherardi²

¹ Instituto de Estudos Avançados – IEAv
Rodovia dos Tamoios Km 5,5 – 12228-840 – São José dos Campos – SP, Brasil

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Divisão de Sensoriamento Remoto
Jardim da Granja - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil

Resumo — O Brasil possui uma extensa área jurisdicional oceânica denominada de Amazônia Azul. As dificuldades de realizar tais tarefas apenas com meios aeronavais remetem à busca por métodos operacionais mais eficientes. Para a detecção automática dos alvos, optou-se pelo uso do detector *Constant False Alarm Rate* (CFAR). Verificou-se a autocorrelação espacial em *range* e em *azimute*. Estimou-se o Número Equivalente de *Looks* pelo método dos momentos. Através do teste estatístico χ -quadrado verificou-se quais funções probabilidade densidade (*pdf*) aderiram-se melhor aos dados amostrados no *near*, *middle* e *far range* das imagens utilizadas. Todavia, como passo inicial da pesquisa, as primeiras detecções utilizaram a distribuição gaussiana, cuja finalidade foi obter parâmetros para futuras comparações com outros tipos de *pdf*. Por fim, utilizou-se o detector CFAR conforme duas diferentes metodologias presentes na literatura.

Palavras-chaves — Imagens SAR, CFAR, sensoriamento remoto, detecção de alvos.

I. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma extensa área jurisdicional oceânica denominada de Amazônia Azul. Este termo foi criado para ressaltar seu tamanho e sua importância. O propósito de monitorar eficientemente estas águas deve-se à necessidade de proteger os recursos naturais nelas presentes (biológicos e minerais). Além de, cumprir com obrigações internacionais de prestar assistência à salvaguarda da vida humana no mar. As dificuldades de realizar tais tarefas apenas com meios aeronavais remetem à busca por métodos operacionais mais eficientes. O monitoramento em conjunto com as imagens de satélites mostra-se bastante eficiente e tem respaldo em vasta literatura científica. Recentes atos de terrorismo e pirataria marítima pelo mundo reforçam este tipo de aplicação e vários países (EUA, Canadá, Noruega, Austrália, China, Alemanha, Itália, Japão, etc.) já adotam este sistema.

Como exemplo de alguns destes sistemas, é possível citar: o *Ocean Monitoring Workstation* (OMW) utilizado pelo governo canadense; o *Search for Unidentified Maritime Objects* (SUMO) do *Joint Research Centre* (JRC) da Comunidade Européia; o sistema da Alenia/ Telespazio da Itália; o sistema do instituto do governo australiano, *Defence*

Science and Technology Organisation (DSTO); e o MEOS SAR da *Norwegian Defence Research Establishment* (NDRE)/ Kongsberg Spacetec AS [1]-[3].

A utilização de sensores SAR deve-se ao fato de que na faixa das microondas as condições atmosféricas (nuvens) muito pouco interferem no imageamento, além do fato de haver independência de iluminação solar (o imageamento pode ocorrer também no período noturno).

Opta-se por utilizar sensores orbitais devido à larga área coberta por cada imagem e à capacidade de revisita sistemática. Estas características permitem um monitoramento regular da Zona Economicamente Exclusiva brasileira.

A próxima seção comentará sobre alguns dos principais satélites disponíveis no mercado e seus sensores de radar de abertura sintética (SAR), mostrando suas características e capacidades. Em seguida, comentar-se-á sobre os dados utilizados neste experimento inicial. Após isto, será exposta a metodologia empregada – verificações estatísticas para a obtenção de parâmetros e o ajuste da estrutura CFAR, conforme características da imagem. Por fim, discorrer-se-á sobre os resultados obtidos e sobre os próximos passos desta pesquisa.

II. PRINCIPAIS SATÉLITES E SENSORES DISPONÍVEIS

Nesta seção será realizada uma breve apresentação dos satélites e de seus sensores SAR. Esta pesquisa está focada na observação e detecção de alvos em extensas áreas. Apenas as características utilizadas nesta pesquisa serão citadas [4]-[8].

A) ADVANCED LAND OBSERVING SATELLITE (ALOS)

O ALOS foi lançado pela Agência Espacial Japonesa (JAXA) com finalidade de monitoramento ambiental global, além de fins cartográficos. Possui três sensores, dois operando na faixa do óptico e um em microondas.

O sensor Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) opera na banda L (1,27GHz). O modo ScanSAR utiliza polarização HH, com 100 metros de resolução espacial e largura de varredura de 250 a 350 km.

Paes, R. L., rlpaes@dsr.inpe.br, Tel +55-12-39475370, Fax +55-12-39475370. Lorenzetti, J. A. loren@dsr.inpe.br, Tel +55-12-3945-6485, Fax +55-12-3945-6449. Gherardi, D. F. M., douglas@dsr.inpe.br, Tel +55-12-3945-6508, Fax +55-12-3945-6449.

B) CONSTELLATION OF SMALL SATELLITES FOR MEDITERRANEAN BASIN OBSERVATION (COSMO-SKYMED)

O Cosmo-SkyMed é um empreendimento da Agência Espacial Italiana (ASI), no qual está prevista a operação de uma constelação de quatro satélites, operando em *tandem*. Até a presente data, dois satélites encontram-se em operação. Em 2009, estão previstos os demais lançamentos.

Os sensores operam na banda X (9,3GHz). O modo ScanSAR pode utilizar polarização VV ou HH. O ScanSAR possui ainda dois modos de largura de varredura: Wide mode – 100x100 km, com resolução espacial de 30 metros; e Huge mode – 200x200 km, com resolução espacial de 100 metros.

C) ENVIRONMENTAL SATELLITE (ENVISAT)

O Envisat está sob a responsabilidade da Agência Espacial Européia (ESA) e possui dez sensores a bordo. O Advanced SAR (ASAR), operando na banda C (5,7GHz), possui um modo ScanSAR cuja polarização pode ser HH ou VV. A largura de varredura é de 400x400km e 150 metros sua resolução espacial.

D) RADARSAT-1

Este satélite, lançado pela Agência Espacial Canadense (CSA), também opera na banda C, polarização HH, e possui dois modos ScanSAR: Wide – 500x500km e 100 metros de resolução; e Narrow – 300x300km e 50 metros de resolução espacial.

E) TERRASAR

O TerraSAR está sob o comando da Agência Espacial Alemã (DLR). Opera na banda X e conta com polarização VV ou HH. O modo ScanSAR tem largura de varredura de 100x150km e resolução de 16 metros.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A) IMAGENS DE SATÉLITES

Os satélites citados na seção anterior são os principais disponíveis no mercado a possuírem a tecnologia SAR. Para a pesquisa completa contar-se-á com imagens dos cinco satélites. No entanto, para este experimento foram utilizadas duas imagens: 01 Radarsat-1 e 01 TerraSAR-X.

A.1) A imagem Radarsat-1, cedida pelo Centro de Pesquisas da PETROBRAS (Cenpes), foi realizada no dia 20 de novembro de 2007, às 21:15 UTC, na região da Baía de Campos – RJ. O modo utilizado foi o ScanSAR Wide. Havia cobertura significativa de nuvens e o vento estava entre 15 e 25 nós.

A.2) A imagem TerraSAR, cedida pela InfoTERRA-Global, foi realizada no dia 09 de agosto de 2008, às 21:15 UTC, na entrada da Baía de Guanabara - RJ, com polarização HH e modo ScanSAR. Havia cobertura significativa de nuvens e o vento estava entre zero e 5 nós.

Ambas as imagens foram calibradas para valores de sigma zero, porém seus valores estão em níveis digitais. As duas imagens também têm seus valores em amplitude.

Como verdade de campo para estas imagens, possui-se informações descritivas e cinemáticas das embarcações

presentes na área para o horário do imageamento. Tais informações foram adquiridas através de um voo feito por uma aeronave de patrulha da FAB e através do sistema de identificação automática de navios (AIS), proporcionado pela empresa AISLive.com [9].

Como dado complementar, possui-se informações sobre a intensidade do vento (imagem do satélite QuickSCAT) [10] e de formações meteorológicas (imagem do satélite GOES-10) [11] para tal região, data e hora.

B) DETECÇÃO DE ALVOS

B.1) TEORIA DA DETECÇÃO

Em [12], a detecção de alvos supõe duas hipóteses: H_0 (somente *clutter*- que é o sinal indesejado) e H_1 (*clutter* + sinal do alvo). Inevitavelmente, aparecerão dois tipos de erros: falsos alvos (*clutter* considerado erroneamente como alvo / tipo I) e detecções perdidas (alvos verdadeiros considerados como falsos / Tipo II).

Não é possível eliminá-los por completo, mas pode-se controlá-los fixando um valor para um dos erros, maximizando os resultados esperados. Este é, portanto, o conceito da taxa constante de falso alarme. Estabelece-se, então, uma taxa constante para os falsos alarmes (*Constant False Alarm Rate* – CFAR).

Como há uma grande variação de região para região nos dados contidos dentro de uma imagem SAR, o algoritmo para a detecção deve ser adaptativo. Isto é, calcula-se um novo limiar para cada porção significativa da imagem, em função da probabilidade de falso alarme (P_{fa}) e da *pdf* adotada.

Na Fig. 1 pode ser observado um esquema para duas distribuições hipotéticas que exemplifica a influência dos erros para uma dada situação:

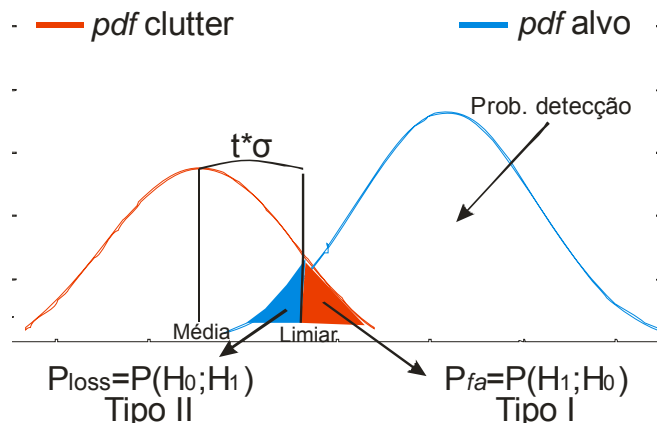


Fig. 1 – Influência dos erros Tipo I e Tipo II
Fonte: Adaptado de [López-Estrada et al., 2004].

onde $P_{loss} = P(H_0|H_1)$ é a probabilidade de perda de detecção, quando se considera como falso um alvo-verdadeiro (erro Tipo II); e $P_{fa} = P(H_1|H_0)$ é a probabilidade de falso alarme, quando se considera como verdadeiro um alvo-falso – um artefato gerado pelo *clutter* ou *speckle* (erro Tipo I). E, $t^*\sigma$ é a distância em unidade de desvio-padrão da média do background para os valores do alvo. Neste caso, o limiar t é o fator determinante desta distância.

B.2) DETECTOR CFAR

A estrutura do detector CFAR para imagens SAR consiste basicamente em três janelas que percorrem toda imagem, computando estatísticas: uma janela externa para a verificação do *background*; uma interna para os alvos; e uma intermediária (*buffer*) que serve para evitar que alvos maiores do que a janela interna contamine as estatísticas do *background*. Apesar de utilizar-se o termo “janelas”, estas estruturas são realmente “anéis”. Pois, são “vazadas” e não consideram os pixels das demais estruturas inscritas durante os cálculos estatísticos. A Fig. 2 exemplifica estas estruturas.

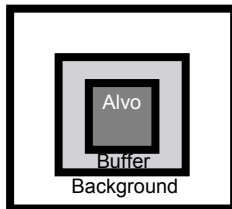


Fig. 2 – Estrutura “física” do CFAR

Esta estrutura “física” pode variar em função da resolução espacial, conforme proposto por [13]. Todavia, o que caracteriza os tipos de CFAR são as equações que os definem como detectores. Basicamente, existem dois tipos: o *Cell-Averaging* (CA) e o *Two-parameter* (2P). Pode-se definir o CA-CFAR por (1) ou (2) e o 2P-CFAR, por (3) ou (4):

$$x_t > \mu_b t \quad \Leftrightarrow \text{alvo} \quad (1)$$

$$\mu_t > \mu_b t \quad \Leftrightarrow \text{alvo} \quad (2)$$

$$x_t > \mu_b + \sigma_b t \quad \Leftrightarrow \text{alvo} \quad (3)$$

$$\mu_t > \mu_b + \sigma_b t \quad \Leftrightarrow \text{alvo} \quad (4)$$

onde x_t é o valor de cada pixel dentro da janela do alvo, μ_t é média dos pixels dentro da janela do alvo, μ_b é a média dos pixels dentro da janela do background, σ_b é o desvio padrão dentro da janela do background e t é o limiar a ser estabelecido (ou calculado) para determinar quais valores acima deste ponto devem ser considerados como alvos. No caso dos detectores aqui utilizados, este limiar t significa o número de desvios-padrão que o alvo está dos valores do *background*.

Existem outros tipos de CFAR que derivam dos dois descritos acima como, por exemplo, o *Order Statistic* (OS) CFAR, o *Smallest Off* (SO) CFAR, o *Greatest Off* (GO) CFAR, além da combinação entre eles [14], [15], [16]. Em [1], há uma revisão bibliográfica bastante detalhada.

O OS-CFAR utiliza os moldes do CA e 2P-CFAR, porém os parâmetros são estimados através do ordenamento estatístico dos valores dos pixels dentro das janelas. A referência [14] apresenta (5):

$$\frac{x_t - X_{50}}{X_{75} - X_{25}} > t \quad (5)$$

onde X_{50} é o valor mediano dos pixels dentro da janela do alvo, X_{75} e X_{25} são os valores correspondentes aos percentis de 75 e 25, respectivamente dentro desta janela.

C) VERIFICAÇÕES ESTATÍSTICAS

Antes de prosseguir às detecções, verificaram-se a autocorrelação espacial, o Número Equivalente de *Looks* (NEL) e a qual função distribuição probabilidade (*pdf*) melhor adere aos pontos amostrados.

Para estimá-los, utilizou-se um software desenvolvido em linguagem IDL, na Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por [17]. Este software utiliza o método dos momentos para estimar o NEL e o teste χ^2 -quadrado para a verificação da *pdf*.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A) ESTATÍSTICAS

O NEL e a *pdf* foram estimados a partir da verificação da autocorrelação espacial. Pois, é necessário saber a partir de qual distância (*lag*), ao menos no sentido vertical e horizontal, um pixel não contém a mesma ou grande parte da informação de outro pixel adjacente. Os valores dos *lags* observados são para o nível de 0.05 de correlação espacial. O sentido horizontal corresponde aos pixels em *range* e o vertical, em *azimute*.

As amostras foram coletadas do *near*, *middle* e *far range* das imagens em questão. Os resultados considerados foram os que ocorreram com maior frequência. A Tabela I relaciona os resultados para as imagens utilizadas:

TABELA I – RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO			
Imagem	Nº de <i>lags</i>	NEL	<i>Pdf's</i>
Radarsat-1	5 horiz./ 3 vert.	5.7	K, gamma, Log-normal
TerraSAR-X	5 horiz./ 3 vert.	7.3	K, Log-normal

B) DETECÇÕES

Neste experimento não foi utilizado, como etapa inicial, o uso de máscaras para evitarem-se as regiões de terra. Esta etapa, portanto, fará parte do estudo completo que está sendo desenvolvido.

A referência [1] comenta que a importância da apropriada distribuição estatística está em evitar os falsos alvos, principalmente em regiões de intenso *clutter*.

Como experimento inicial desta pesquisa, abordou-se os esquemas de detecção (2P-CFAR) propostos por [18] e [13], considerando os dados com distribuição gaussiana. As Fig. 3 e Fig. 4 mostram as imagens originais.

A intenção deste experimento é comparar futuramente tais resultados com aqueles que serão provenientes dos detectores que consideram outras distribuições.

B.1) DETECTOR DE ELDHUSET

B.1.1) TAMANHO DAS JANELAS

- Alvo: 10x10 pixels;
- Background: 20x20 pixels.

B.1.2) ESTATÍSTICAS DE DETECÇÃO

- Média do Background (b):

$$\mu_b = \frac{1}{N_b} \sum \sum x(i, j) \quad (9)$$

onde N_b é o n° de pixels em b e $(i, j) \in b$.

- Desvio-padrão para imagens em amplitude:

$$\sigma_b = \mu_b \sqrt{\frac{\left(\frac{4}{\pi} - 1\right)}{NEL}} \quad (10)$$

- Desvio-padrão para imagens em intensidade:

$$\sigma_b = \frac{\mu_b}{\sqrt{NEL}} \quad (11)$$

- Formação de imagem intermediária:

$$T(i, j) = x(i, j) + x(i, j+1) + x(i+1, j) + x(i+1, j+1) - 4\mu_b \quad (12)$$

- Estatística de detecção:

$$T(i, j) > q\sigma_b \quad (13)$$

Onde q é o limiar previamente definido pelo usuário. A referência [18] propõe inicialmente o uso de $q = 5.0$.

B.1.3) RESULTADOS

- As Fig.5 e Fig. 6 mostram os resultados para $q=5.0$.

C.1) DETECTOR DE WACKERMAN

C.1.1) TAMANHO DAS JANELAS

- Alvo: 5x5 pixels;
- Buffer: 7x7;
- Background: 15x15 pixels.

Neste experimento foram apenas utilizados estes tamanhos de janela, devido ao melhor desempenho apresentado para ambas as imagens. Apesar de [13] sugerir que o tamanho das janelas deva estar relacionado ao espaçamento entre pixels da imagem.

C.1.2) ESTATÍSTICAS DE DETECÇÃO

- Média do alvo (μ_t) e do background (μ_b): da mesma forma do que em (9).
- Desvio padrão do background:

$$\sigma_b = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (14)$$

- Estatística de detecção:

$$d = \frac{(\mu_t - \mu_b)}{\sigma_b} \quad (15)$$

Se $d \geq t$, então há alvo. Caso contrário, será *clutter*. Ainda em [13], é recomendado para imagens com espaçamento entre pixels maior ou igual a 50m (imagem Radarsat-1 utilizada) valores para t de 5.5 e de 5.0. E, para valores menores (imagem TerraSAR utilizada), t de 6.0 e de 5.5.

C.1.3) RESULTADOS

- As Fig.7 e Fig.8 mostram os resultados para $t = 5.5$, que foi o melhor resultado obtido para as duas imagens testadas.

As detecções estão de acordo com os dados de campo obtidos, seja pela aeronave da Força Aérea, seja pelas mensagens AIS.

Ao observarem-se os resultados é possível notar que uma inapropriada distribuição estatística influencia negativamente os resultados, por mais que sejam testados diferentes valores de t . Devido aos diversos fenômenos naturais que ocorrem nos oceanos, diferentes situações podem ocorrer em uma mesma imagem, apresentando áreas de background homogêneas e heterogêneas. Além do fato de que as detecções podem ocorrer próximas à costa. Portanto, não basta apenas buscar o melhor limiar. É necessário utilizar uma *pdf* que modele bem o *clutter* marinho a fim de evitar ao máximo os falsos alvos. Além disto, existem etapas antes e depois do processamento que normalmente são empregadas para facilitar a detecção, como: mascaramento da região de terra e a filtragem pós-deteção, respectivamente.

V. OBSERVAÇÕES FINAIS

Como próximo passo, pretende-se utilizar regras de decisão para definir entre o uso do CA/2P-CFAR e OS-CFAR. Sendo que o uso do OS-CFAR em regiões heterogêneas, com muita variação de intensidade de *clutter*, é comentado em [1]. Além de, verificar a eficiência de filtros de mediana e filtros morfológicos [15] para eliminar pequenos ruídos após a detecção.

Pretende-se utilizar a distribuição K e verificar sua influência nas detecções. Uma vez que esta distribuição aparece como resultado na maioria dos testes de aderência, ora realizados. Além de, ser bastante citada na literatura. Através desta *pdf* também se pretende calcular o limiar t , dada uma pré-estabelecida probabilidade de falso alarme (8), conforme consta em [19]:

$$Pfa = \int_t^{\infty} f(x) dx \quad (8)$$

onde $f(x)$ é a *pdf* do background. Haja vista que, aqui, este limiar t não representa mais um distanciamento em unidades de desvio padrão. Agora, t significa um ponto de corte na *pdf*, a partir do qual podem ser estabelecidos os valores aceitáveis para haver a detecção dos alvos.

Por fim, a intenção é utilizar imagens dos diferentes satélites/sensores descritos na seção II deste trabalho, analisando a influência de suas características na detecção de alvos na superfície do mar.

VI. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Cenpes-PETROBRAS pelo fornecimento da imagem Radarsat-1 e à InfoTERRA-Global/ DLR pelo fornecimento da imagem TerraSAR-X.

Ao comando da 2ª Força Aérea, agradecemos pela disponibilização da aeronave de patrulha para aquisição das verdades de campo. À empresa AISLive.com, agradecemos pelo fornecimento de mensagens AIS para o mesmo propósito.

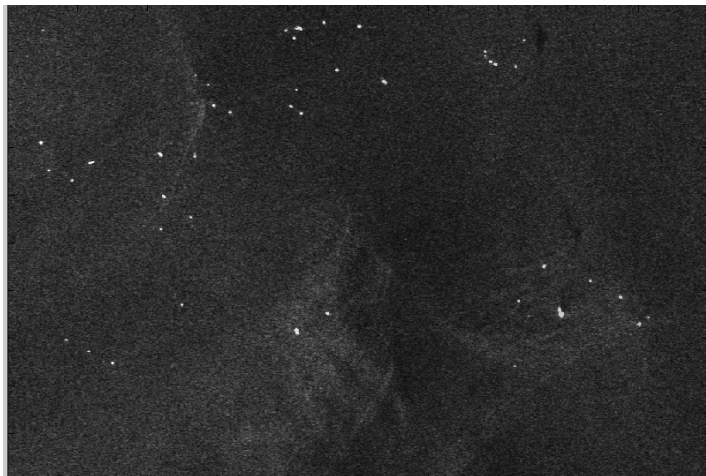


Fig. 3 – Bacia de Campos – RJ / Imagem original Radarsat-1

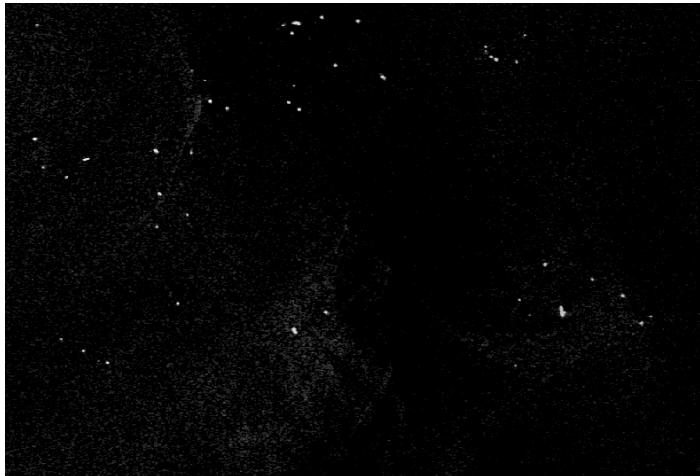


Fig. 5 – Detector Eldhuset – $q=5.0$ / Imagem Radarsat-1



Fig. 7 – Detector Wackerman – $t=5.5$ / Imagem Radarsat-1

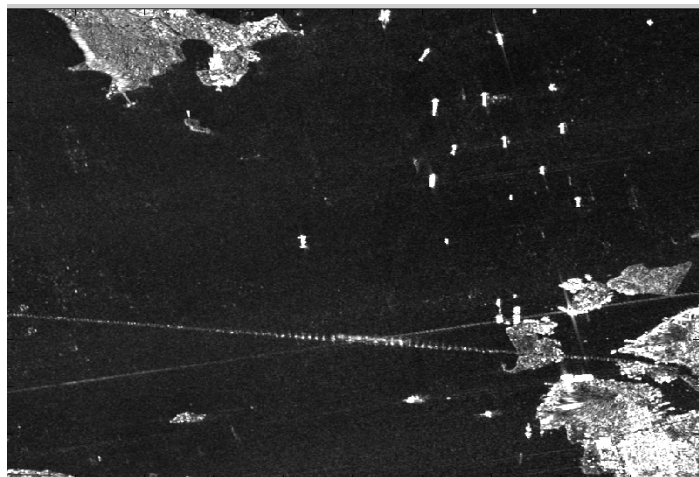


Fig. 4 – Rio de Janeiro/ Niterói / Imagem original TerraSAR-X

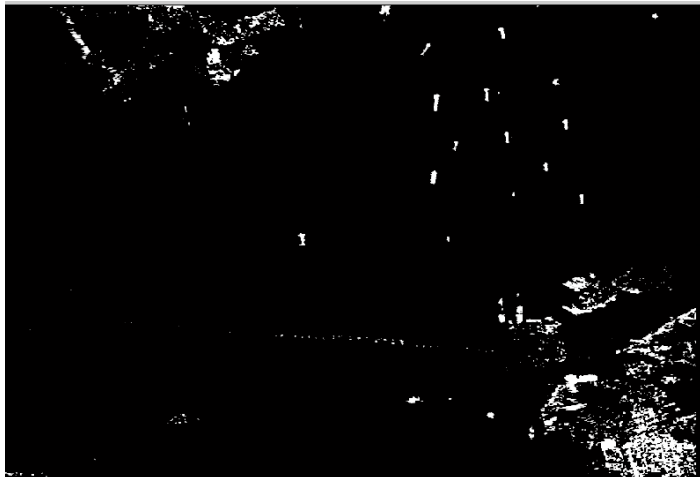


Fig. 6 – Detector Eldhuset – $q=5.0$ / Imagem TerraSAR-X

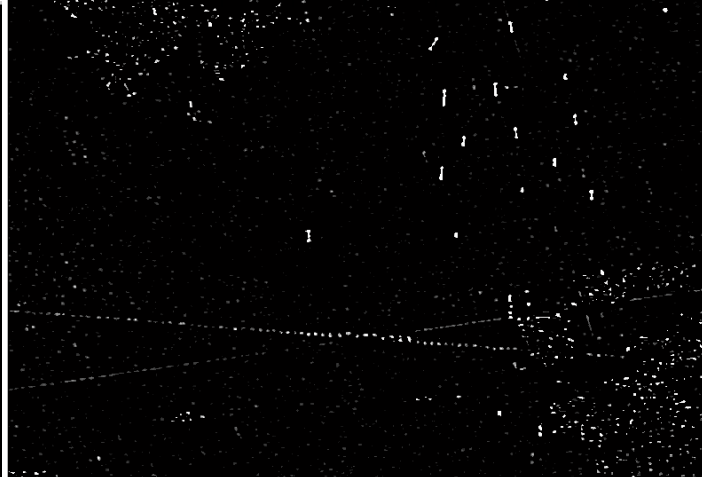


Fig. 8 – Detector Wackerman – $t=5.5$ / Imagem TerraSAR-X

REFERÊNCIAS

- [1] D. J. Crisp, "The State-of-the-art in ship detection in synthetic aperture radar imagery", *Defence Science and Technology Organisation – DSTO*. Edinburgh, May 2004.
- [2] H. Greidanus, P. Clayton, M. Indregard, et al., "Benchmarking operational SAR ship detection", *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04. Proceedings. 2004 IEEE International*. Anchorage, vol. 6, pp. 4215-4218, Sept. 2004.
- [3] Site Kongsberg Spacetec AS. Disponível em: <<http://www.spacetec.no/>>. Acesso em: 18 setembro 2008.
- [4] Site Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/alos/default.php>>. Acesso em: 18 setembro 2008.
- [5] Site e-Geos/ Telespazio-ASI. Disponível em: < <http://www.e-geos.it/index.html>>. Acesso em: 18 setembro 2008.
- [6] Site Agência Espacial Européia - ESA. Disponível em: < <http://envisat.esa.int/> >. Acesso em: 18 setembro 2008.
- [7] Site Canada Centre for Remote Sensing - CCRS. Disponível em: < <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/> >. Acesso em: 18 setembro 2008.
- [8] Site InfoTERRA-Global/ DLR. Disponível em: < www.infoterra-global.com/ >. Acesso em: 18 setembro 2008.
- [9] Site AISLive.com. Disponível em: < www.aislive.com/ >. Acesso em: 18 setembro 2008.
- [10] Site Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais. Disponível em: <http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp>. Acesso em: 18 setembro 2008.
- [11] Site Ocean Surface Winds. Disponível em: <<http://manati.orbit.nesdis.noaa.gov/doc/oceanwinds1.html> > Acesso em: 18 setembro 2008.
- [12] S. M. Kay, "Fundamentals of statistical signal processing – Detection theory", Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, c1998. v.2. (Prentice hall signal processing series). ISBN 0-13-504135-X.
- [13] C. Wackerman, P. Clemente-Colén, W. Pichel, K. Friedman, X. Li. "Automatic Detection of Ships Using RADARSAT-1 SAR Imagery". In: *Proceedings of the AMRS Workshop in Ship Detection in Coastal Waters*, May 31, 2000, Digby, Nova Scotia.
- [14] L. M. Novak e S.R. Hesse, "On the performance of Order-Statistics CFAR Detector", *Signals, Systems and Computers, 1991. 1991 Conference Record of the Twenty-Fifth Asilomar Conference on*, Pacific Grove, vol. 2, pp. 835-840, nov 1991.
- [15] S. López-Estrada, R. Cumplido-Parra e C. T. Torres-Huitzil, "A hybrid approach for target detection using CFAR algorithm and image processing". *Computer Science, 2004. ENC 2004. Proceedings of the Fifth Mexican International Conference in*, México, pp. 108-115. Sep. 2004.
- [16] A. Zaimbashi, M. R. Taban et al., "Weighted order statistic and fuzzy rules CFAR detector for Weibull clutter", *Signal Processing*, vol. 88, Issue 3, pp. 558-570, Mar 2008.
- [17] A. H. Correia, "Projeto, Desenvolvimento E Avaliacao De Classificadores Estatísticos Pontuais E Contextuais Para Imagens Sar Polarimétricas", *Dissertacao (Mestrado)*, INPE, 1998. São José dos Campos, SP: INPE, 1999 271305216 (INPE-7178-TDI/679).
- [18] K. Eldhuset, "An automatic ship and ship wake detection system for spaceborne SAR images in coastal regions", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 34, No. 4, pp. 1010-1019, Jul 1996.
- [19] C. Oliver, S. Quegan, "Understanding synthetic aperture radar images", Boston, MA: Artech House, c1998. Único. 479 p. ISBN 0-89006-850-X.