

Localização automática de objetos não naturais (antropomórficos) em imagens SAR multi-polarimétricas
Estudo de caso: Acidente do GOL 1907

Paulo Eduardo Ubaldino de Souza

Comando Geral de Operações Aéreas – COMAER/MD
SHIS QI 05, Área Especial 12 - 71615-600 - Brasília-DF, Brasil
pesouza@orbitalbr.com

Abstract. This paper describes algorithms that process fully polarimetric synthetic-aperture radar (SAR) to detect stationary man-made targets in a ground clutter background. The polarizations evaluated were HH, HV and VV, the resolutions were 3 meters for L-Band and 2.5 meters for P-Band.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, SAR, search and rescue, target detection, polarimetric radar, sensoriamento remoto, processamento de imagens, busca e salvamento, detecção de alvos, radar polarimétrico.

1. Motivação

No dia 29/09/06, por volta das 17:00P, o Centro de Controle de Área de Brasília, responsável pelo controle de todos os tráfegos aéreos da região do Cindacta 1, perdeu o *plot radar* do vôo GOL 1907. Às 20:00P, quando a probabilidade da ocorrência de um acidente chegava a 100%, uma aeronave R-99A e uma R-99B decolaram em busca de sinais eletromagnéticos do transmissor de emergência e outros equipamentos eletrônicos do Boeing ou até mesmo o sinal de um celular buscando uma rede no “meio do nada”. Nada foi encontrado. Somente no dia seguinte, uma outra aeronave, um Hércules C-130, fazendo uma **busca visual**, localizaria os primeiros destroços.

Este é apenas um exemplo dos inúmeros casos de acidentes aéreos em que as buscas só podem ser realizadas com a luz do sol e por meio de um pequeno grupo, com olhos bem treinados e padrões de busca bem definidos. E se o SAR do R-99B possuísse um algoritmo a bordo, capaz de localizar objetos feitos pelo homem? Esta aeronave, sediada em Anápolis, no centro do país, poderia decolar a qualquer hora, em quase todas as condições atmosféricas, se deslocar rapidamente, imagear grandes áreas e entregar os resultados para o pessoal da Busca e Salvamento, para que estes assumissem as buscas ao raiar do dia ou quando a chuva permitisse.

Este tipo de integração motivou a NASA (2006) a desenvolver o SAR² (Search and Rescue Synthetic Aperture Radar), conforme mostra a **Figura 1**.

Remote Sensing Applications

Search and Rescue Synthetic Aperture Radar (SAR²) is intended to aid in finding obscured crashed aircraft in remote areas when no emergency beacon is operating.

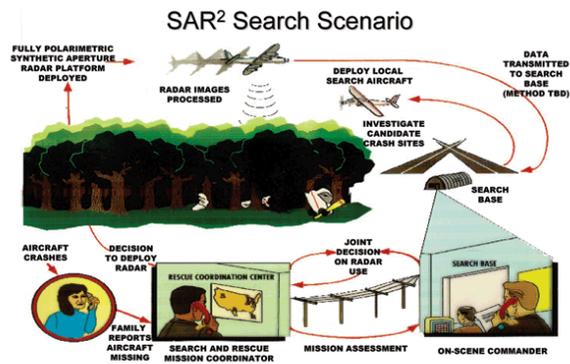


Figura 1 – SAR² (Search and Rescue Synthetic Aperture Radar). Fonte: Nasa (2006)

No dia 02/10/06 o R-99B decolou novamente, desta vez com ordens para imagear com seus 03 sensores de bordo (OIS, MSS e SAR – Banda L e X) a área do acidente.

No dia 04/11/06 a empresa ORBISAT voluntariamente imageou a área com seu SAR – Banda X e P. Ajuda muito bem vinda, já que a Banda P sabidamente possuiu maior penetração no dossel florestal do que a Banda L.

Os produtos dos sensores SAR foram processados no GIC - Grupo de Inteligência de Combate da Força Aérea, sendo os resultados apresentados no presente trabalho.

As **Figuras 2, 3 e 4** apontam o local do acidente, identificado em imagem CCD/CBERS, MSS/R-99B e foto aérea, respectivamente.

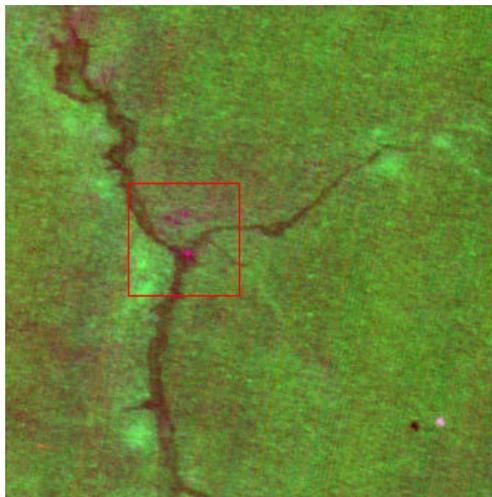


Figura 2 - Clareiras próximas aos destroços – RGB-342 CCD / CBERS-2 – 07/10/06

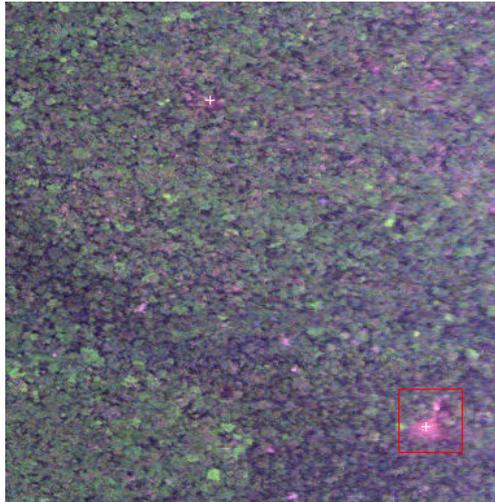


Figura 3 - Clareiras maiores – RGB-852 MSS / R-99B – 02/10/06

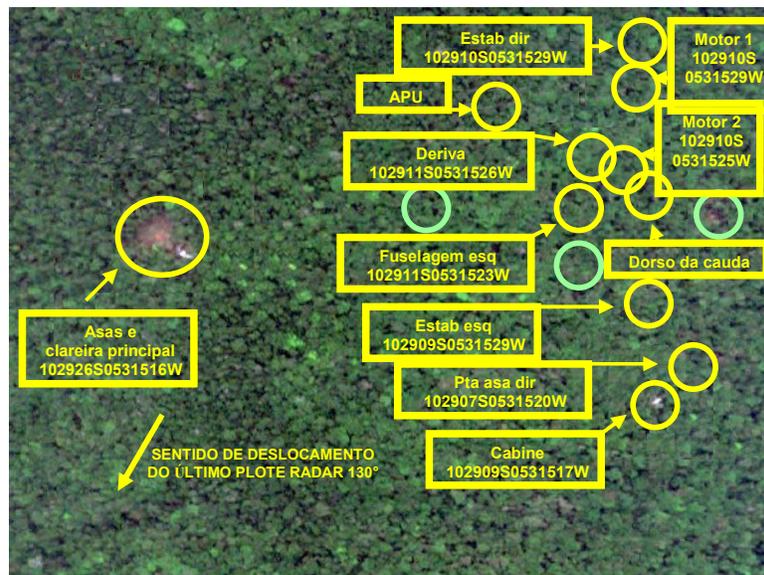


Figura 4 - Localização dos destroços informada pelo Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos-CENIPA

2. Metodologia

Devido à urgência em se encontrar os destroços do acidente, foram utilizadas imagens multi-polarimétricas do R-99B (banda L) da região de Brasília-DF como dados de treinamento, pois estes já estavam disponíveis no bando de dados.

Segundo Novak et al. (1989), a polarização HV gera a máxima resposta para refletores diédricos orientados a $\pm 45^\circ$ com a horizontal, a combinação (HH + VV) gera a máxima resposta para refletores triédricos e a combinação (HH - VV), para refletores diédricos orientados horizontal ou verticalmente.

O método empregado consistiu em gerar inicialmente uma soma quadrática das polarizações HH, HV e VV, que representa a potência total de resposta polarimétrica (Novak et al., 1989), conforme a **Equação 1**.

$$\text{SPAN} = |\text{HH}|^2 + 2|\text{HV}|^2 + |\text{VV}|^2 \quad (1)$$

Em seguida, foram geradas duas novas composições para a discriminação polarimétrica de feições conforme as **Equações 2 e 3**, desenvolvidas no *Environmental Research Institute of Michigan –ERIM*.

$$\text{ODD} = (|\text{HH} + \text{VV}|)^2 / 2 \quad (2)$$

$$\text{EVEN} = (|\text{HH} + \text{VV}|)^2 / 2 + 2|\text{HV}|^2 \quad (3)$$

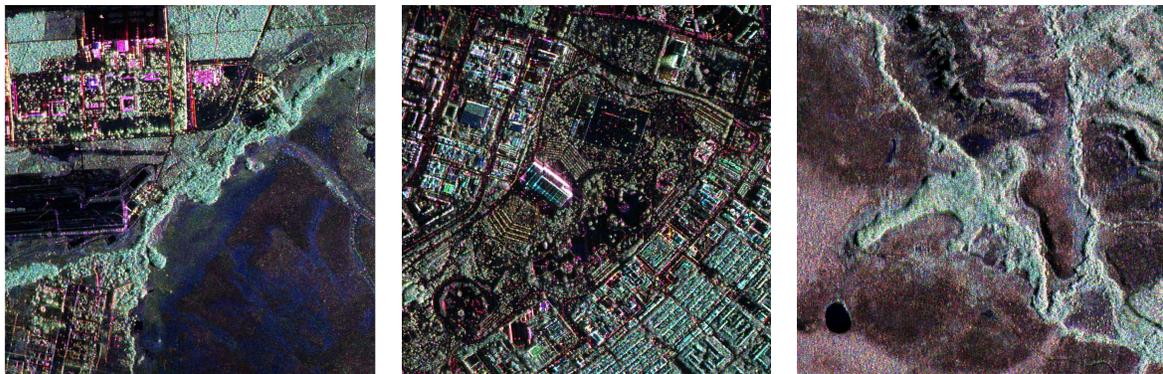
Onde, de acordo com Novak et al. (1995), ODD corresponde ao retorno de feições planas ou triédricas e EVEN, ao retorno de feições diédricas. A motivação para estas combinações reside na raridade de feições naturais com estruturas diédricas e na abundância das mesmas em objetos criados pelos seres humanos.

Para a seleção de possíveis alvos com base no brilho local, os três produtos (SPAN, ODD e EVEN) foram submetidos a um detector CFAR (*Contrast-based Features*), conforme a **Equação 4**.

$$(X - m) / s > K_0 \quad (4)$$

Onde, **X** é a área a ser processada; **m**, a média; **s**, o desvio padrão e **K₀**, o limiar definido empiricamente nas imagens de treinamento, para remover os possíveis falsos alarmes dos resultados.

Três áreas de teste na região de Brasília foram selecionadas: uma da Base Aérea, com diversos alvos antropomórficos, incluindo entre ele, aeronaves estacionadas; outra, do Parque da Cidade, envolvendo parte das edificações da Asa Sul e do Setor Sudoeste; e uma terceira, de uma área rural, à noroeste da cidade, conforme mostram a **Figuras 5**.



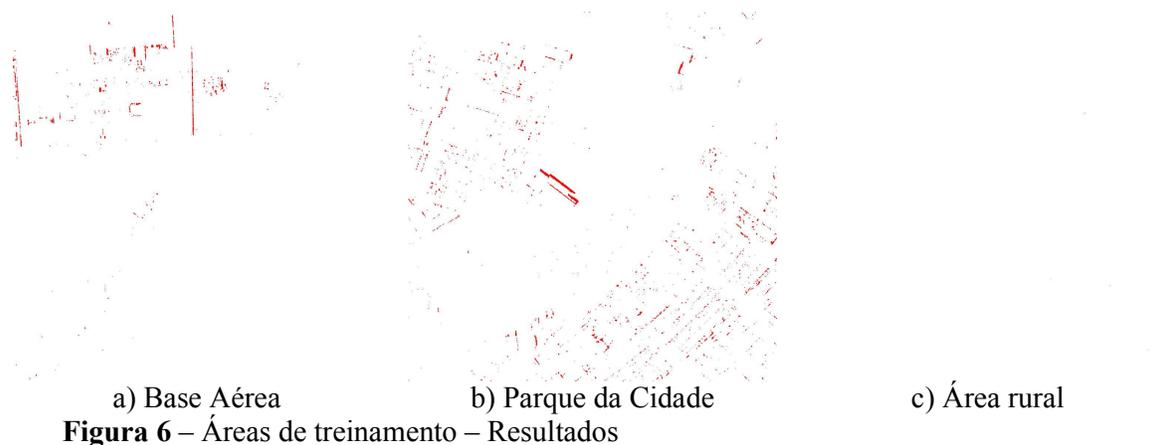
a) Base Aérea

b) Parque da Cidade

c) Área rural

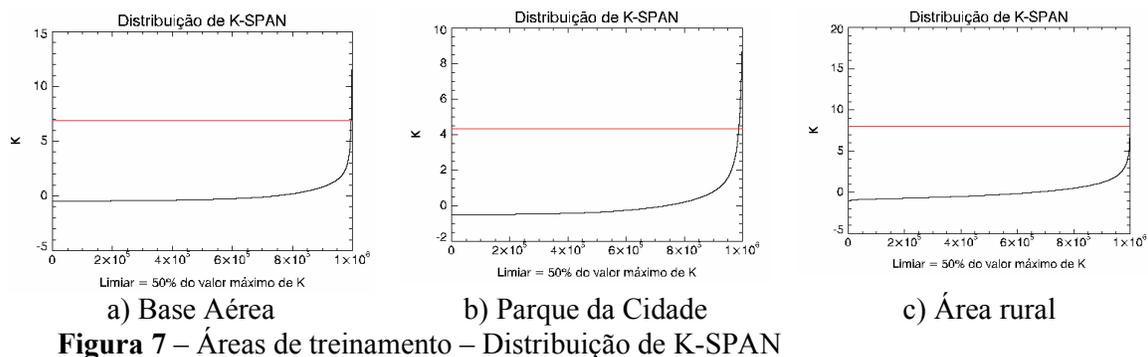
Figura 5 – Áreas de treinamento – Composição (HH, HV, VV) – Banda L / R-99B

Na **Figura 6**, as áreas vermelhas correspondem aos locais onde ocorreram respostas de estruturas diédricas ou triédricas, para um limiar de **K** > 50%.



A distribuição dos valores de **K**, apresentada na **Figura 7**, mostra que apenas os alvos com elevada resposta em relação aos seus arredores serão assinalados.

Como não foi realizado trabalho de campo, não foi possível verificar se os 05 (cinco) alvos assinalados na **Figura 6c** são alvos reais ou falsos alarmes causados pela falta de objetos de alto brilho na região. Em uma análise amostral de alguns pontos isolados das **Figuras 6a e 6b**, foram observados alvos reais em uma imagem QuickBird.



Os resultados foram aceitos como estáveis e foram aplicados nas imagens multi-polarimétricas do R-99B (Banda L) e da ORBISAT (Banda P).

3. Resultados

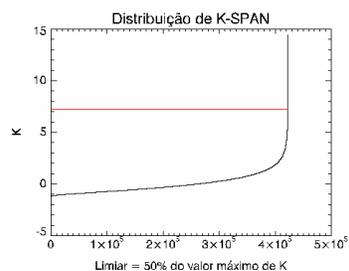
Inicialmente foram processadas as imagens do R-99B do local do acidente (**Figura 8**), onde foram detectados 37 prováveis alvos.



a) HH-HV-VV



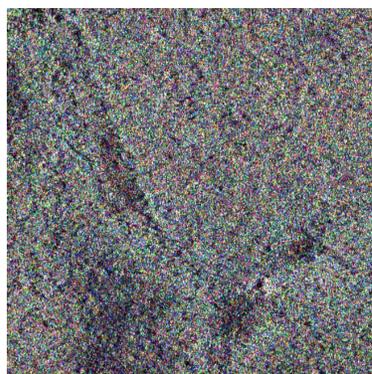
b) Resultado – 37 alvos



c) K-SPAN

Figura 8 –Resultado da imagem do R-99B – Banda L.

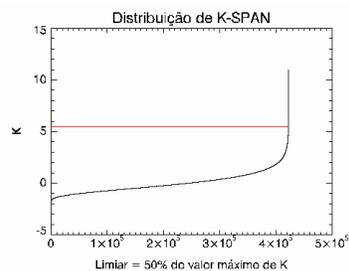
As imagens da Banda P foram processadas conforme mostra a **Figura 9**. Foram detectados 51 prováveis alvos, sendo 20 nas passagens no sentido Norte-Sul e 31, no sentido Leste-Oeste.



a) HH-HV-VV



b) Resultado – 51 alvos



c) K-SPAN

Figura 9 –Resultado da imagem da ORBISAT – Banda P.

Os alvos dos dois sentidos de passagem da Banda P (Norte-Sul e Leste-Oeste) foram cruzados e aqueles que apareceram nas duas classificações foram seleccionados como os mais prováveis.

Os pontos fornecidos pelo CENIPA não foram utilizados como verdade terrestre por terem sido coletados com pouco rigor científico: com equipamento portátil, sob a copa das árvores e pessoal com preocupações maiores do que precisão na coleta dos dados.

4. Discussão e trabalhos futuros

As áreas de treinamento possuem características de cobertura do solo diferentes das da área do acidente, o treinamento só foi realizado com imagens da Banda L, sem dados de campo, os alvos estavam abaixo da copa das árvores. Por tudo isso, os resultados apresentados devem ter gerado diversos falsos alarmes.

Novos estudos, em ambientes e condições mais bem controlados, devem ser realizados para validar este método.

A utilização de algoritmos capazes de detectar anomalias em padrões de textura pode aumentar a capacidade de detecção de pequenos objetos sob a copa das árvores.

Os possíveis alvos foram encaminhados ao CENIPA, mas ainda não foi possível fazer uma avaliação da precisão do método utilizado.

Referências

NASA - Search and Rescue Synthetic Aperture Radar (SAR2). Disponível em:

<<http://searchandrescue.gsfc.nasa.gov/techdevelopment/sar2.html>>. Acesso em 14 nov. 2006.

Novak, L. M.; Halversen S. D.; Owirka G. J.; Hiatt M. Effects of Polarization and Resolution on the Performance of a SAR Automatic Target Recognition System. **The Lincoln Laboratory Journal**, v. 8, n. 1, p. 49-68. 1995

Novak, L. M. ; Sechtin, M. B. ; Burl, M. C. **Algorithms for Optimal Processing of Polarimetric Radar Data**. Lexington: Massachusetts Institute of Technology Lexington Lincoln Laboratory, 1989. 98p.