

Detecção Automática de Alvos em Imagens SAR Utilizando-se Casamento de Padrões com Correlação Cruzada Normalizada

Hallysson Oliveira^{1,2}, José Fernando Basso Brancalion¹ e David Fernandes²

¹Empresa Brasileira de Aeronáutica S/A, EMBRAER, Av. Brigadeiro Faria Lima, 2170 - 12227-901, São José dos Campos, SP

²Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial, Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 - 12228-900, São José dos Campos, SP

Resumo — Sistemas ATD/R (*Automatic Target Detection / Recognition*) baseados em imagens de Radar de Abertura Sintética (SAR) são bastante sensíveis às variações de posição, tamanho e orientação dos alvos e portanto constituem um grande desafio para seu desenvolvimento. Este trabalho apresenta um estudo e a implementação de um sistema de Detecção Automática de Alvos (ATD) utilizando uma abordagem de reconhecimento de padrões conhecida como Casamento de Padrões baseada em Correlação Cruzada Normalizada, que busca encontrar similaridades entre as regiões da imagem analisada e um modelo fornecido de um alvo (*template*).

Palavras-chaves — Detecção automática de alvos, detecção de alvos em imagens SAR, casamento de padrões, correlação cruzada normalizada.

I. INTRODUÇÃO

Sistemas ATD/R desempenham um papel importante no contexto de aplicações militares, tendo como objetivo auxiliar, ou até substituir, o papel do homem na tarefa de detecção e reconhecimento de alvos. O processo de ATD/R é bastante complexo e, portanto, geralmente é subdividido em vários subprocessos [1, 2, 3]. Uma forma comum de abordar esse problema é dividi-lo em dois problemas distintos: ATD (*Automatic Target Detection*) e ATR (*Automatic Target Recognition*), conforme mostrado na Fig. 1. O ATR é tratado em [4] e o ATD é o objetivo deste trabalho.

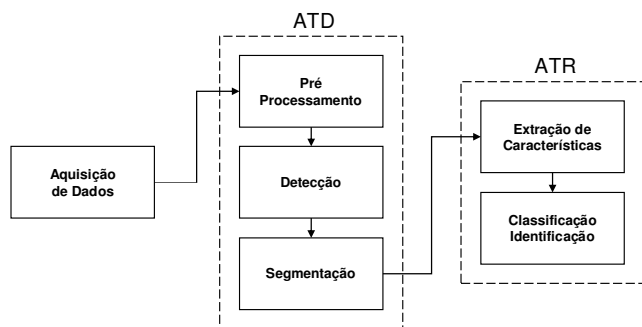


Fig. 1. Esquema de subprocessos do ATD/R

Neste trabalho foi desenvolvido e implementado um método para a detecção automática de alvos em imagens SAR utilizando-se técnicas de processamento de imagens e de reconhecimento de padrões [5]. A saída do sistema pode ser utilizada como uma entrada para um sistema ATR para que este possa classificar e/ou identificar o alvo.

II. ALVOS E IMAGENS SAR

A Fig. 2 ilustra a aquisição da cena por um SAR, que através da técnica de compressão de pulsos e da sintetização, por processamento de sinais, de uma abertura angular azimutal, da antena transmissora/receptora, muito estreita, é capaz de gerar imagens de alta resolução [6, 7]. O SAR é um sistema ativo, em geral de microondas, que pode ser utilizado sem a presença da luz solar e em condições meteorológicas adversas, o que o torna atrativo em certas circunstâncias.

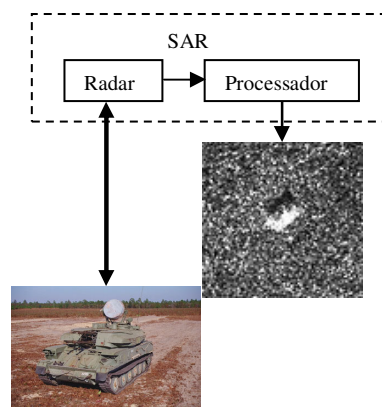


Fig. 2. Aquisição de dados de uma cena por um sistema imageador SAR

Utilizou-se um conjunto de imagens SAR disponibilizadas pelo site da Sandia National Laboratories/EUA (<http://www.sandia.gov>). As imagens SAR utilizadas possuem diferentes resoluções e espaçamento entre pixels e se referem a terrenos que contém, na sua superfície, vários carros de combate, dispostos em diferentes orientações. Todas as imagens disponibilizadas são imagens amplitude em escala de cinza com 8 bits por pixel.

III. METODOLOGIA

O sistema implementado é um sistema ATD composto pelos subprocessos: Pré Processamento, Detecção e Segmentação.

Cada subprocesso foi subdividido em etapas para simplificar a abordagem e implementação do sistema. A Fig. 3 mostra com mais detalhes, o diagrama da arquitetura do sistema ATD implementado.

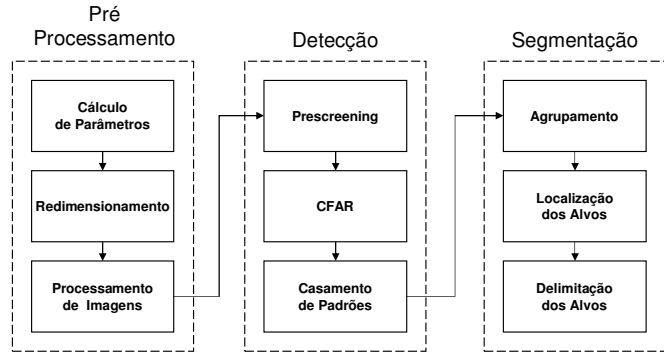


Fig. 3. Arquitetura do sistema ATD desenvolvido

A. Pré Processamento

Na etapa de Pré Processamento são calculados alguns parâmetros que serão utilizados pelo sistema durante todo o processamento e também são aplicadas algumas técnicas de processamento de imagens digitais para melhorar algumas características das imagens utilizadas, tanto da cena que será processada quanto no *template* que é simplesmente um modelo do alvo a ser procurado. Nesse caso o *template* é uma imagem de um carro de combate M47.

O primeiro parâmetro calculado é o tamanho esperado em *pixels* (S_a^p) do alvo:

$$S_a^p = \frac{S_a}{\psi_t} \quad (1)$$

onde S_a é tamanho real do alvo e ψ_t é o espaçamento entre *pixels* da imagem do *template*.

O segundo parâmetro calculado é o fator de escala, f_ψ :

$$f_\psi = \frac{\psi_t}{\psi_c} \quad (2)$$

onde ψ_c é o espaçamento entre *pixels* da imagem da cena.

O fator de escala é utilizado para redimensionar o *template* para que fique com o mesmo espaçamento entre *pixels* da cena, evitando assim problemas de escala entre as imagens.

A técnica empregada para a supressão de ruídos nas imagens SAR, notadamente o *speckle*, foi a utilização de um filtro do tipo SGBNR - *Selective Gaussian Blur Noisy Reduction*, que realiza uma convolução da imagem com vários filtros gaussianos em conjunto, com um mecanismo de proteção de borda [5]. Este mecanismo de proteção de borda tem como objetivo permitir que o filtro suavize as áreas da imagem que possuem poucos detalhes e preserve as áreas da imagem que possuem grande diferença de contraste, preservando assim suas características e diminuindo a deformação provocada pela suavização resultante do filtro gaussiano.

Na Fig. 4 mostra-se um exemplo do resultado da aplicação dos filtros da média, gaussiano e SGBNR em uma imagem SAR. A imagem SAR original (Fig. 4A) possui um forte ruído *speckle*. O filtro da média (Fig. 4B) e o filtro gaussiano

(Fig. 4C) reduzem o ruído porém deformam a imagem pois não fazem nenhum tratamento para evitar o borramento das bordas. O mecanismo de proteção de borda do filtro SGBNR faz com que o filtro não seja aplicado nas bordas ou aplicado com menos intensidade. É possível notar que após a aplicação do filtro SGBNR (Fig. 4D) as partes da imagem com pouca diferença de contraste são suavizadas (o terreno, por exemplo) enquanto que as partes com grande contraste (bordas do carro de combate) não sofrem muita alteração.

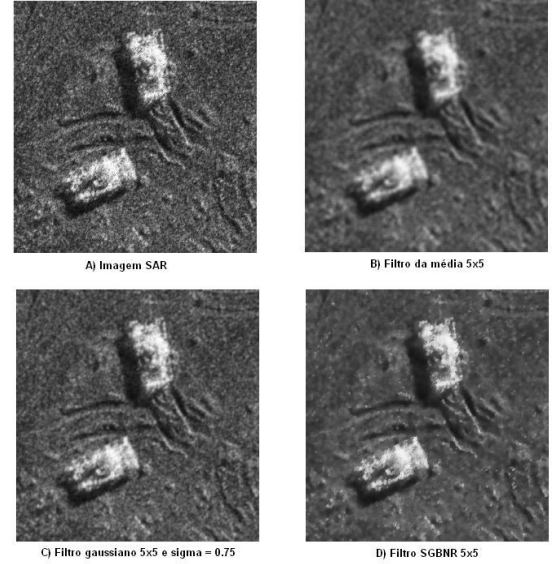


Fig. 4. Exemplos de filtragem da imagem SAR.

Em seguida aplica-se um realce de contraste nas imagens. Para tanto, calculam-se os valores dos níveis de cinza mínimo e máximo que é ocupado pela imagem original. Aplica-se então uma transformação linear no histograma da imagem de forma que os valores de nível de cinza mínimo e máximo do histograma coincidam respectivamente com os valores mínimo e máximo da escala de cinza utilizada. Este realce de contraste é mostrado nas Figs. Fig. 5 e Fig. 6.

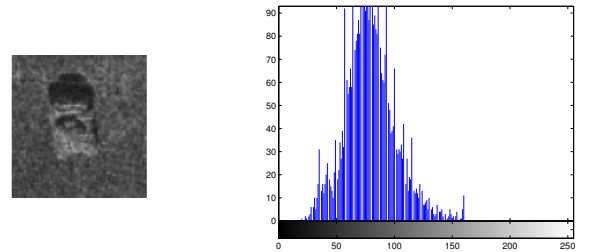


Fig. 5. Histograma da imagem SAR de um carro de combate.

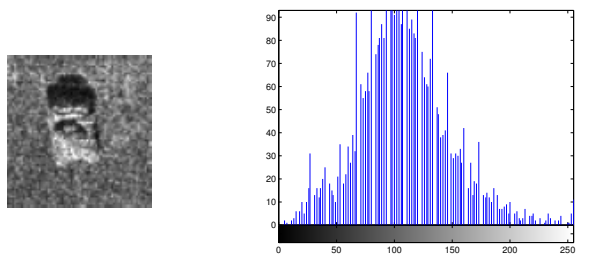


Fig. 6. Histograma da imagem SAR após o realce de contraste.

O realce de contraste, diferentemente da equalização de histograma, não causa perda de informação, pois todos os níveis de cinza continuarão com o mesmo número de *pixels*.

B. Detecção

A etapa de Detecção foi dividida em três estágios: *Prescreening*, CFAR e Casamento de Padrões. No estágio de *Prescreening* são identificadas as regiões de interesse na imagem no qual há a possibilidade existir um alvo. Essas regiões de interesse são chamadas de ROI - *Regions of Interest*. Semelhante ao realizado em [3], aproveita-se o fato que os carros de combate são feitos de materiais que refletem com mais intensidade os pulsos emitidos pelo SAR do que o terreno. Utiliza-se um comparador para identificar as regiões na imagem que são significativamente mais claras. Para isto utiliza-se um comparador no qual o limiar (limiar *prescreening*, γ_p) é calculado da seguinte maneira:

$$\gamma_p = \mu_c + (m_c - \mu_c)k_{\gamma_p} \quad (3)$$

onde μ_c é a média da intensidade dos *pixels* da imagem, m_c é o valor máximo da intensidade dos *pixels* da imagem e k_{γ_p} é um parâmetro que varia de 0 a 1 que ajusta quanto acima da média estará o limiar.

A Fig. 7 mostra a aplicação deste comparador com $k_{\gamma_p} = 0,4$.

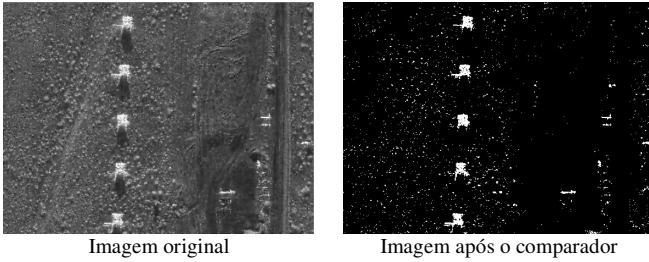


Fig. 7. *Prescreening* - Aplicação do comparador com $k_{\gamma_p} = 0,4$

Aplica-se então um filtro da mediana com máscara 5x5 para reduzir o ruído, em forma de pequenos pontos dispersos, que ainda está presente. Um filtro gaussiano é aplicado em seguida na imagem resultante para borrar (*blurring*) as ROIs identificadas. Este borramento tem por objetivo unificar em um único aglomerado, pequenos aglomerados de *pixels* relativos a um mesmo alvo. A Fig. 8 mostra um exemplo da aplicação do filtro da mediana para retirar o ruído ainda presente na imagem após o comparador e em seguida a aplicação do filtro gaussiano.

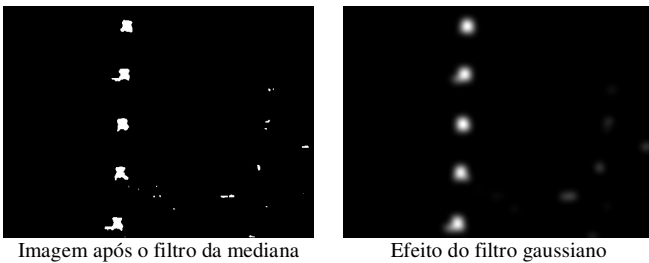


Fig. 8. *Prescreening* - Aplicação do filtro da mediana com máscara 5x5 e em seguida um filtro gaussiano.

Em seguida é aplicado outro comparador, porém desta vez com um limiar constante igual a 0,1, apenas para binarizar a imagem.

Na etapa de CFAR é calculado o tamanho de cada ROI e comparado com o tamanho esperado do alvo em *pixels* (S_a^p).

Caso o tamanho da ROI seja menor que $0,2 S_a^p$, ou maior que $2 S_a^p$, então a ROI é descartada. A Fig. 9 mostra a imagem binarizada resultado do comparador com limiar igual a 0,1 e a máscara ROI final depois de descartadas as ROI's com tamanho não apropriado na etapa de CFAR.

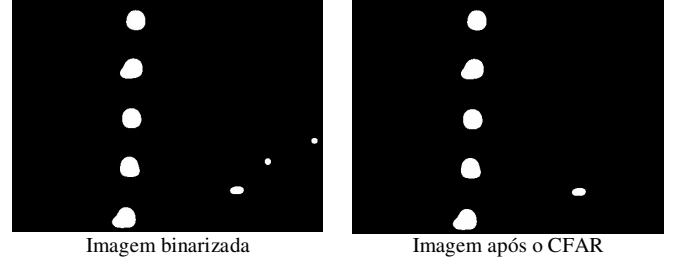


Fig. 9. *Prescreening* - Binarização da imagem seguida da eliminação das ROI's cujos tamanhos não são considerados apropriados e portanto não são alvos em potencial

Na etapa de Casamento de Padrões é calculada a similaridade entre o *template* e as regiões da cena que foram delimitadas pelas ROI's. Para calcular a similaridade foi utilizada a Correlação Cruzada Normalizada [7]. Como resultado, obtém-se uma matriz, R , de mesmo tamanho da imagem da cena, onde cada elemento, R_{ij} , desta matriz corresponde à similaridade do *template* com a região da cena, com o mesmo tamanho do *template*, centrada no *pixel* com a coordenada correspondente ao índice deste elemento.

Sejam A a matriz contendo a cena, B a matriz contendo o *template*, m_A e n_A , o número de linhas e colunas da matriz A , m_B e n_B o número de linhas e colunas da matriz B , o cálculo de R_{ij} é dado por:

$$R_{ij} = \frac{\sum_{m=1}^{m_B} \sum_{n=1}^{n_B} (A_{mn}^{ij} - \bar{A}^{ij})(B_{mn}^{ij} - \bar{B}^{ij})}{\sqrt{\left(\sum_{m=1}^{m_B} \sum_{n=1}^{n_B} (A_{mn}^{ij} - \bar{A}^{ij})^2 \right) \left(\sum_{m=1}^{m_B} \sum_{n=1}^{n_B} (B_{mn}^{ij} - \bar{B}^{ij})^2 \right)}} \quad (4)$$

onde:

$$A_{mn}^{ij} = A_{\left(i - \frac{m_B+1}{2} + m, j - \frac{n_B+1}{2} + n\right)} \quad (5)$$

$$\bar{A}^{ij} = \frac{1}{m_B n_B} \sum_{m=1}^{m_B} \sum_{n=1}^{n_B} A_{mn}^{ij} \quad (6)$$

A Fig. 10 mostra um *template* e uma cena usada para exemplificar a utilização da Correlação Cruzada Normalizada.

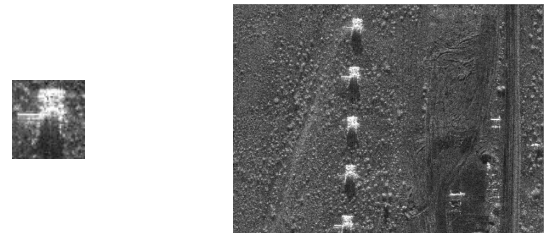


Fig. 10. *Template* e cena usada para exemplificar a utilização da Correlação Cruzada Normalizada.

Na Fig. 11 mostra-se o resultado da Correlação Cruzada Normalizada entre o *template* e a cena da Fig. 10.

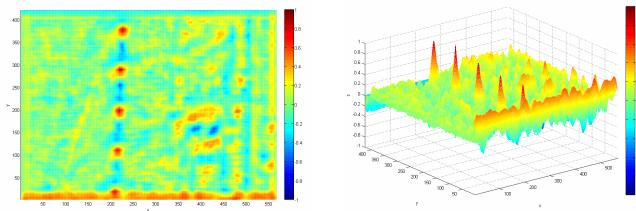


Fig. 11. Resultado da Correlação Cruzada Normalizada.

A máscara ROI é utilizada para que sejam calculadas as correlações apenas nas regiões de interesse, reduzindo consideravelmente o tempo de cálculo da correlação. Em seguida, é aplicado um limiar de detecção, γ_d , de forma que as regiões da imagem cuja similaridade forem maior que este limiar são consideradas como um alvo detectado.

Na Fig. 12 mostra-se a aplicação da máscara ROI e a aplicação do limiar de detecção com $\gamma_d=0,7$, ou seja, as regiões da imagem que possuem similaridade maior do que 70% foram consideradas como alvo.

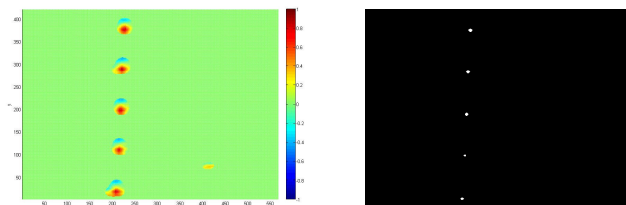


Fig. 12. Aplicação da máscara ROI no resultado da correlação e em seguida do um limiar de detecção, $\gamma_d = 0,7$.

Devido ao fato da Correlação Cruzada Normalizada não ser invariável em relação à rotação, o *template* é rotacionado em diversos ângulos com intervalos constantes até completar uma volta. O parâmetro que regula o valor desses intervalos é chamado de Delta de Rotação, ΔR . Os resultados finais das detecções, para cada ângulo de rotação, são combinados, na forma de um OU-lógico. Assim, para que um alvo seja detectado, basta que ele seja detectado em pelo menos uma orientação. Na Fig. 13 é apresentada uma imagem com alvos em diversas orientações e na Fig. 14 são apresentados os resultados da detecção para $\Delta R=45^\circ$, ou seja, os *templates* são rotacionados de 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° e 315° .



Fig. 13. Imagem SAR original contendo alvos em diversas orientações.

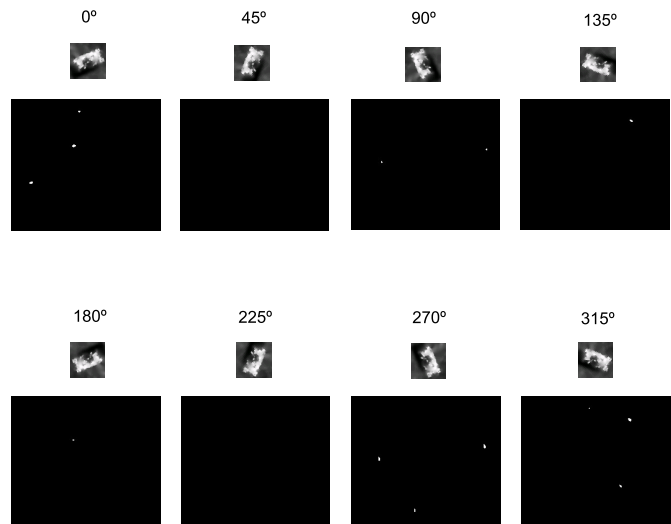


Fig. 14. Resultado das detecções para $\Delta R=45^\circ$.

A Fig. 15 mostra o resultado da combinação da detecção de todas as orientações.

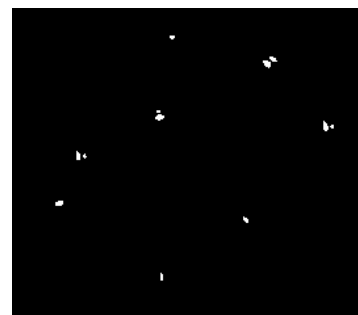


Fig. 15. Resultado da detecção com o OU-lógico.

C. Segmentação

O processo de segmentação consiste em localizar e delimitar na imagem original a posição na qual cada alvo foi detectado. Para calcular a localização de cada alvo detectado é realizado um agrupamento (*clustering*) das regiões resultantes, sendo que o centro de massa de cada grupo (*cluster*) encontrado é considerado como a coordenada que corresponde ao centro geométrico do alvo na imagem original.

Para evitar múltiplas detecções de um mesmo alvo, a distância entre a coordenada de dois ou mais alvos deve ser menor do que o tamanho esperado do alvo, caso contrário estes alvos são reagrupados e substituídos por um único alvo cuja coordenada corresponde ao centro de massa destes alvos.

Na Fig. 16 mostra-se em azul o resultado da detecção e em vermelho a posição do alvo após a segmentação. Nota-se que alguns alvos foram detectados duas vezes, mas a segmentação identificou como apenas um alvo. Apesar da imagem conter 12 *clusters* (em azul), oito deles foram reagrupados dois à dois, obtendo no final, apenas oito coordenadas de alvos (em vermelho). Como cada coordenada representa um alvo, dessa forma têm-se oito alvos.

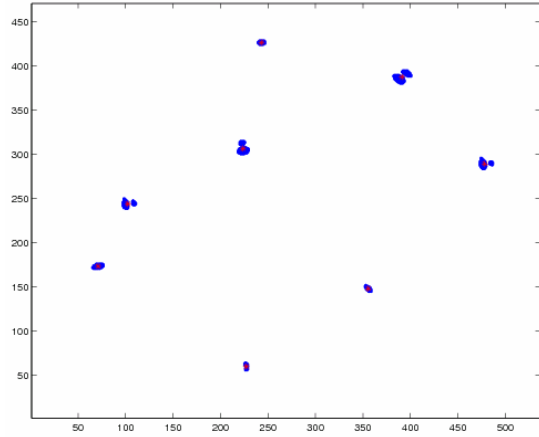


Fig. 16. Localização (em vermelho) dos alvos detectados (em azul).

A delimitação da região ocupada pelo alvo é feita marcando-se para cada coordenada, obtida no processo de segmentação, um quadrado com aresta do tamanho esperado do alvo. Junto com cada quadrado que delimita um alvo é mostrado um número que varia de 0 à 100 indicando o grau de similaridade do alvo em relação ao *template*.

A Fig. 17 mostra o resultado da delimitação dos alvos, na cena original mostrada na Fig. 13, utilizando as coordenadas obtidas no processo de segmentação.

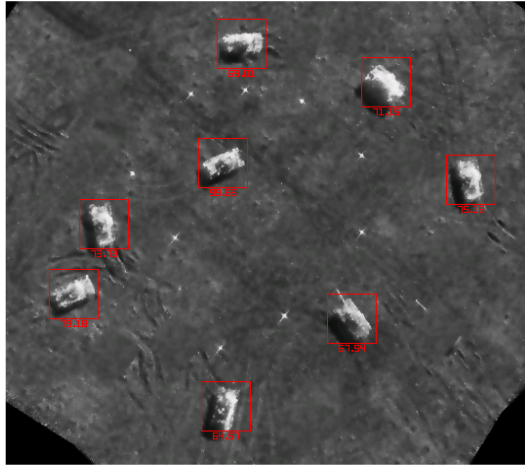


Fig. 17. Detecção final dos alvos na imagem original. Junto com cada alvo detectado é apresentado o grau de similaridade deste alvo com o *template*.

IV. TESTES E RESULTADOS

Para os parâmetros de configuração: $\gamma_d=0,6$; $k_{\gamma_p}=0,3$ e $\Delta R=20^\circ$, utilizou-se seis cenas com um total de 70 alvos. O desempenho do sistema ATD foi avaliado segundo os seguintes critérios:

- N_C - Quantidade de alvos detectados corretamente na cena;
- N_F - Quantidade de alvos detectados incorretamente na cena, ou seja, falsos alarmes. $N_F = N_D - N_C$, onde N_D é o número de objetos detectados como alvos nesta mesma cena.
- N_N - Quantidade de alvos que não foram detectados na cena. $N_N = N_A - N_C$, onde N_A é o número de alvos contidos em uma determinada cena.

Os resultados dos testes são apresentados na TABELA I:

TABELA I: RESULTADO DOS TESTES.

Cena	N_A	N_D	N_C	N_F	N_N
1	5	5	5	0	0
2	8	8	8	0	0
3	13	13	13	0	0
4	13	13	13	0	0
5	13	16	13	3	0
6	18	14	14	0	4

O sistema ATD implementado detectou corretamente 66 alvos de um total de 70 alvos obtendo um percentual de detecção de 94,29%. A quantidade de falsos alarmes foi de apenas três alvos, perfazendo assim um percentual de falso alarme de 4,29%.

Os falsos alarmes (N_F) obtidos na cena 5 se devem à baixa resolução da imagem da cena 5, enquanto que os alvos não detectados na cena 6 se devem a influência da sombra no processo de detecção. Notou-se que alvos do mesmo tipo, porém com sombras em orientações diferentes terão similaridades diferentes, podendo inclusive ficar abaixo de γ_d e não serem detectados.

V. COMENTÁRIOS FINAIS

Foi proposto um processador para detecção automática de alvos terrestres em imagens SAR. Este processador utilizou a técnica de casamento de padrões por medida de similaridade com um padrão de alvo (*template*), utilizando a correlação cruzada normalizada.

Os resultados obtidos foram satisfatórios pois obteve-se um pequeno número de falsos alarmes (N_F) e de alvos não detectados (N_N).

A análise dos resultados mostrou que pode-se melhorar o desempenho do processo de detecção levando-se em consideração a sombra dos alvos.

REFERÊNCIAS

- [1] J. Schroeder. "Automatic target detection and recognition using synthetic aperture radar imagery". *International Conference on Image Processing*, 2001, Thessaloniki, Greece.
- [2] B. Bhanu. "Automatic target recognition: State of the art survey". *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, v. 22, n. 4, p. 364-379, July 1986.
- [3] G. Hajduch, P. Leilde, V. Kerbaol. "Ship detection on envisat asar data: Results, limitations and perspectives". *SEASAR 2006*, Frascati, Italy, 2006.
- [4] J. P. P. Pordeus. *Reconhecimento automático de alvos em imagens SAR*. 2006. Dissertação de Mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [5] H. Oliveira. *Detecção automática de alvos em imagens SAR*. 2007. Dissertação de Mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [6] K. Tomiyasu. "Tutorial review on synthetic aperture radar (SAR) with application to imaging of ocean surface". *Proceedings of the IEEE*, v. 66, no. 5, 1978, pp. 563-583.
- [7] W. G. Carrara, R. M. Majewski and R. S. Goodman. *Spotlight Synthetic Aperture Radar*. Norwood: Artech House, 1995.
- [8] J. P. Lewis, "Fast normalized cross-correlation". *Vision Interface (VI95)*, 1995, Quebec, Canada. p. 120-123.