

# Aplicações Operacionais do Radar de Abertura Sintética (SAR) e da câmera Infravermelha de Visada Direta (FLIR): um quadro comparativo e implementações futuras

CT(EN) Ali Kamel Issmael Junior - alikamel@ita.br, Tel +55-12-39476889  
Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha (DSAM) - Rua Primeiro de Março, 118  
Centro - Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20.010-000

**Resumo** — A utilização das tecnologias SAR (“Synthetic Aperture Radar”) e FLIR (“Forward Looking Infrared”) são extremamente importantes para o cumprimento de missões militares de reconhecimento e combate. Entretanto, ambas apresentam limitações que podem comprometer a efetividade de seu uso. Este artigo tem o objetivo de apresentar uma breve revisão destas tecnologias e um quadro comparativo entre as suas características e aplicações. Além disso, divulgar uma futura implementação, já sendo estudada e testada por diversos países, que é a fusão das informações SAR-FLIR em uma apresentação sintética, geradas por um algoritmo apropriado.

**Palavras-chaves** — radar SAR, FLIR, aplicações operacionais, Imageamento multisensorial, fusão de imagens.

## I. INTRODUÇÃO

As técnicas SAR e FLIR vêm sendo estudadas e aplicadas há mais de vinte anos pelas forças armadas dos países mais desenvolvidos. A possibilidade de se observar por meio de imagens geradas a partir das características termais do ambiente e dos alvos (FLIR) e da capacidade de alta resolução em grandes distâncias e independente do horário de aquisição e das condições ambientais (SAR), permitiu uma ampliação no conhecimento tático de um teatro de operações, independente de sua natureza ser a aérea, marítima ou terrestre. Em função disto e das limitações existentes nestes sistemas, a tendência atual para se gerar sistemas multifuncionais, i.e., aglutinando as informações geradas por mais de um sensor para se obter uma imagem híbrida que, a partir de algoritmos apropriados, elimina pontos sem confirmação de ambigüidade, com respostas mais precisas para problemas operacionais de campo. Neste contexto, o domínio destas técnicas permite ao conhecedor da arte, a independência no projeto, produção e aquisição. Para analisarmos esta tendência, vamos realizar uma breve revisão das técnicas SAR e FLIR.

## II. TÉCNICAS SAR E FLIR: UM QUADRO COMPARATIVO

### A. Técnica SAR

O Radar convencional apresenta uma resolução espacial muito pobre, tanto em distância como em azimute. Dessa

forma, foi vislumbrado o uso de técnicas de processamento de sinais que aumentam esta capacidade de resolução para a utilização em sistemas imageadores. Este sistema passou a ser conhecido como Radar de Abertura Sintética (“Synthetic Aperture Radar”) ou SAR. Ele se baseia nos seguintes princípios:

- É um radar coerente, ou seja, a aquisição abrange fase e amplitude do sinal eco;
- Uma vez que para se conseguir um pulso muito curto com elevadíssima potência, deve-se aumentar a sua largura, temos uma degradação da resolução em distância. Para alongar o pulso e obter-se uma boa resolução, utiliza-se a técnica de compressão de pulso, modulando-o em frequência ou em fase com variação que pode ser linear ou não, do parâmetro escolhido para a modulação; e
- Para gerar uma abertura sintética, ou seja, simular uma antena com abertura azimutal ampliada, utiliza-se a frequência Doppler gerada pelo movimento da antena em relação ao alvo, a partir da compensação coerente de cada eco, pela sua fase respectiva em razão da distância antena-alvo. Como a resolução é aproximadamente a razão entre o comprimento de onda ( $\lambda$ ) pela distância percorrida pelo SAR enquanto o objeto estava no campo de visada (S), quanto mais aumentarmos sinteticamente S, maior a resolução.

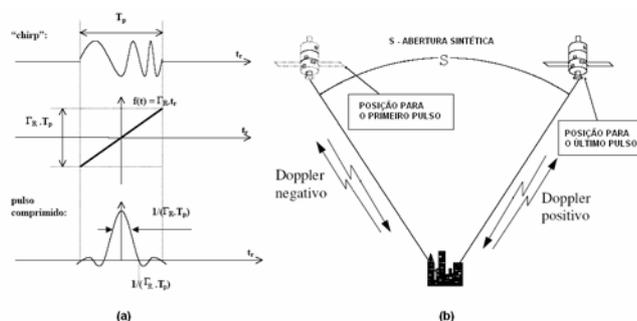


Fig. 1. Técnica SAR: a) compressão de pulso e b) abertura sintética [1],[2]

O sistema SAR se distingue dos sensores que geram imagens a partir das faixas de frequência do visível e do

infravermelho, pelo fato de se utilizar uma fonte de rádio-freqüência como elemento gerador de radiação. Além disso, essa fonte de radiação é ativa e pode ter seus parâmetros de freqüência, polarização e ângulo de incidência escolhidos previamente pelo operador.

O sinal eco do SAR depende das propriedades eletromagnéticas da cena imageada, da forma geométrica (relevo), de rugosidades que possuam dimensões da ordem do comprimento de onda da portadora, da freqüência, da polarização e do ângulo de incidência. Desta forma, a imagem calibrada representará a refletividade da cena ou seu coeficiente de retroespalhamento ( $\sigma_0$ ).

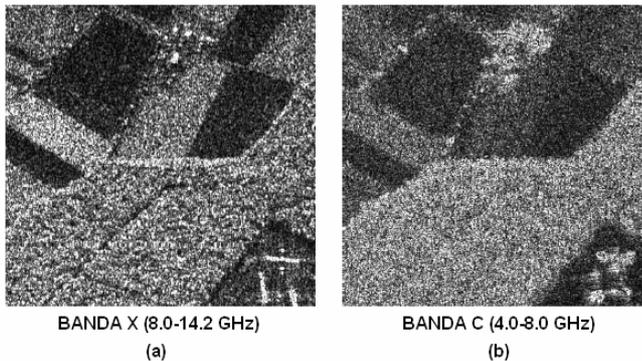


Fig. 2. Imagens geradas pelo radar SAR-580/CNRS a partir da variação da banda de freqüência do sinal da portadora[1]

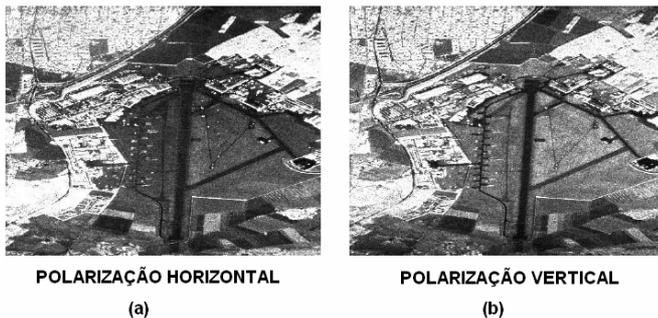


Fig. 3. Imagens geradas pelo radar SAR-580/DLR a partir da variação da polarização do sinal transmitido [1]

Devido às características de penetração da onda eletromagnética, o sistema pode gerar imagens sob a presença de nuvens, neblina, chuva e independente do horário do dia. Com a escolha adequada da freqüência e da polarização da onda, pode-se obter imagens da copa das árvores ou do solo de uma floresta. Entretanto, uma limitação é a baixa capacidade de detecção de alvos em movimento, devida à necessidade de compensar os movimentos de “pitch”, “roll” e “yaw” da aeronave ou satélite, além dos ruídos provocados pelo processamento coerente do sinal retroespalhado e refletido, conhecidos como “speckle”. Estes fatores reduzem a capacidade de distinção e classificação automática da imagem[3].

TABELA I RESOLUÇÃO TÍPICA SAR[1]

	ERS-1 (Orbital) (distância x azimute)	E-SAR (Aerotransportado) (distância x azimute)
Imagem Bruta	5,5 x 4,5 Km	750 x 890 m
Imagem SAR Final	12 x 12 m	3 x 3 m

Devido a essas características, os radares SAR são empregados militarmente nas seguintes missões:

- Reconhecimento por satélite ou aerotransportado em território inimigo;
- ATR (“Automatic Target Recognition”); e
- Identificação de manchas de óleo no mar, denunciando a passagem de navios não autorizados.

### B. Técnica FLIR

Sensores de Imageamento FLIR (“Forward Looking Infrared”) se utilizam de uma matriz (“array”) de detectores infravermelhos fotossensíveis passivos que realizam uma varredura da cena para prover uma imagem visível do padrão radiante termal detectado da mesma, discriminando os níveis de irradiação emitidos e refletidos por objetos naturais e artificiais, não necessitando do movimento da plataforma para compor a imagem[4]. Eles operam normalmente em uma faixa de comprimento de onda de 8 a 14  $\mu\text{m}$ , onde também há uma boa janela de transmissão na atmosfera. Também há a faixa de 3 a 5 microns, com menor absorção por vapor d’água e mais favorável para ambientes tropicais.

Infravermelho	Freq.: 100 GHz – 100 THz	Comprimento de onda
	Muito Distante (XIR)	1000 – 15 $\mu\text{m}$
Distante (FIR)	15 – 6 $\mu\text{m}$	
Médio (MIR)	6 – 3 $\mu\text{m}$	
Próximo (NIR)	3 – 0.75 $\mu\text{m}$	

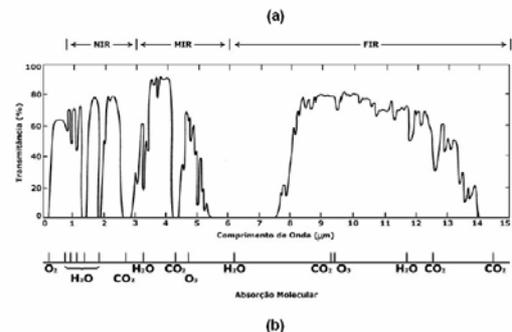


Fig. 4. a) Divisão da faixa do Infravermelho e b) Janelas de absorção de sinais infravermelhos da atmosfera.[5]

A significância primária para os sistemas imageadores de Infravermelho é que não há a necessidade de se iluminar a cena. Entretanto o sistema apresenta limitações em presença de condições atmosféricas desfavoráveis como chuva, nuvens, umidade ou neblina, devido a curva de absorção ser alterada e ocorrer um maior espalhamento de energia infravermelha, pela mistura de maiores concentrações de determinados gases. Isto reduz consideravelmente a resolução dos sensores FLIR em comparação com o SAR.

Apesar deste óbice, em condições ideais, a resolução dos sensores FLIR pode ser de três a seis vezes maior que o range visual, além de permitir uma melhor discriminação entre elementos de uma cena.



(a)

(b)

Fig. 5. Uso de tecnologia FLIR no Brasil: a) Helicóptero HÁ-1 Fenec, do EB, equipado com câmera de imagens térmicas FLIR 2000 da empresa FLIR Systems e b) Detalhe da câmera térmica instalada no helicóptero.[6]

Os fatores de performance mais importantes para os sensores FLIR são a sua resolução termal, ou seja, a diferença de temperatura capaz de ser detectada entre as partes adjacentes da cena em que dois pontos podem ser distinguidos, e sua resolução angular, que nada mais é do que o campo de visada (“Field of View” – FOV) de um detector individual. Quanto menor o detector, melhor a sua resolução angular. Em linhas gerais são conseguidas resoluções angulares na faixa de miliradianos, enquanto sua resolução termal pode chegar a faixa de centésimos de graus centígrados em sistemas mais complexos[7].

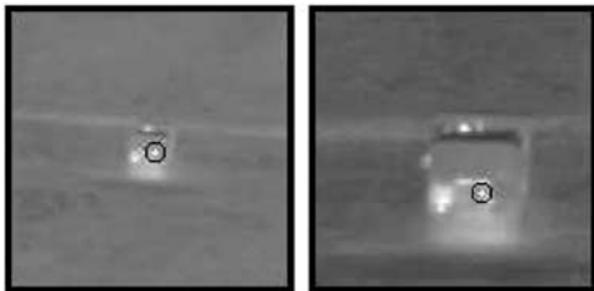


Fig. 6. Seqüência de aquisição da alvo por meio de imagem termal (câmera FLIR).[8]

Devido a essas características, são empregados militarmente em:

- Ampliação da capacidade de visão humana;
- ATR (“Automatic Target Recognition”);
- Guiamento de armamentos; e
- Alarmes.

### III. FUSÃO SAR E FLIR: PERSPECTIVA FUTURA

A atual tendência para melhorar o reconhecimento e a aquisição de alvos é o uso de sistemas multisensores. A partir da fusão de dados de sensores que abrangem mais de uma banda de frequências, é possível verificar redundâncias que possam corrigir erros de discriminação de imagens geradas por apenas um único sensor. Uma das opções que podem ampliar bastante a confiabilidade de sistemas associados para missões ATR seria a fusão dos sistemas SAR e FLIR. De fato, nos Estados Unidos essa tecnologia já é patenteada [9] e nos mostra o quanto poderá ser útil e importante após a sua implementação militar e comercial.

Em linhas gerais os sistemas SAR e FLIR coexistem na mesma plataforma. Os sinais de cada sensor são processados separadamente e por meio da seleção adequada de algoritmos e parâmetros, os dados são fundidos em uma imagem híbrida com informações mais distintas e precisas[10].

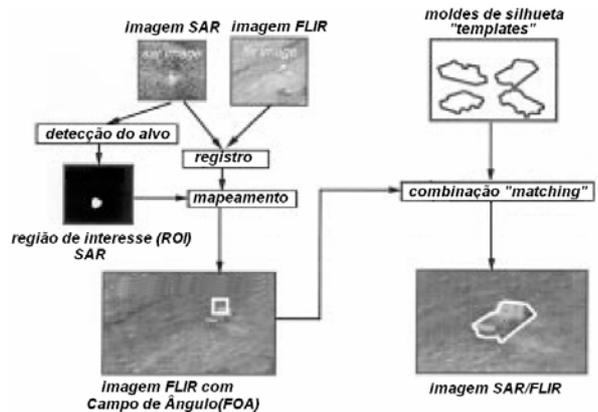


Fig. 7. Fusão SAR/FLIR para sistemas automático de reconhecimento de alvo(ATR).[10]

Os sistemas usam um sensor como um filtro para o outro. A detecção do alvo é mais fácil de se realizar em uma imagem do SAR, devido à faixa dinâmica mais elevada e à resposta melhor aos objetos artificiais. Entretanto, a maioria de algoritmos de ATR é mais estável para um sensor como o FLIR. As vantagens de ambos os sensores podem ser combinadas usando a detecção da área de interesse (“Region of Interest” – ROI) na imagem SAR como uma parte de um foco do mecanismo da alerta para identificar a ROI correspondente em uma imagem co-registrada pelo FLIR. O ATR pode agora ser executado dentro destas regiões na imagem de FLIR. O sistema completo tem baixa taxa de falso alarme e a alta probabilidade de detecção obtida com o sistema SAR e a alta probabilidade de reconhecimento do sistema FLIR.

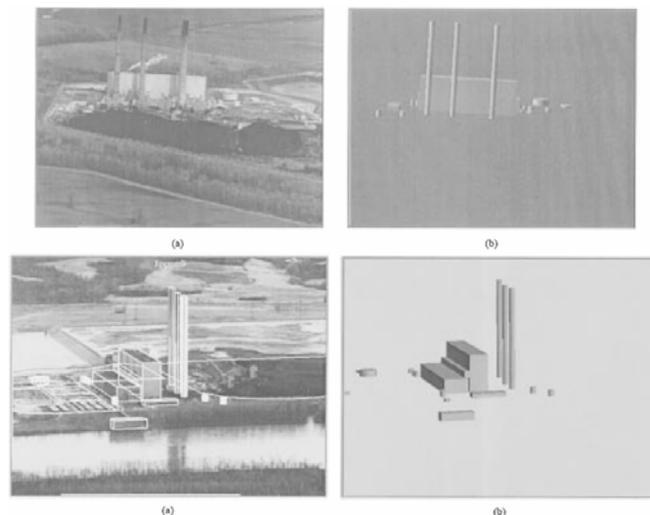


Fig. 8. Alguns exemplos do uso da técnica de fusão de imagens SAR/FLIR. Nas imagens da esquerda a detecção da ROI pelo sistema SAR e à esquerda a imagem “renderizada”, com a distinção da silhueta do alvo[10]

### IV. OBSERVAÇÕES FINAIS

Como podemos observar, o uso de técnicas SAR e FLIR são extremamente importantes para a defesa de nosso país. Devido a grande extensão territorial, deficiências que existem na vigilância tanto marítima, aérea e de fronteiras, poderiam ser melhoradas se pudéssemos dispor de plataformas orbitais ou aerotransportadas que possuíssem sistemas SAR, FLIR, ou híbridos.

Missões militares como as de reconhecimento de alvos, identificação de ameaças, geração de padrões de assinaturas termais e SAR para bibliotecas de missões, além do largo uso

no meio civil, como controle de desmatamentos, agressões ao meio ambiente como queimadas e despejo de óleo em rios e mares, podem ter sua efetividade aumentada sobremaneira com o uso das tecnologias aqui retratadas.

## REFERÊNCIAS

- [1] David Fernandes, “Radar de Abertura Sintética”, *apostila da disciplina EE-08 - Processamento radar do Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético (CEAAE)*, 2006.
- [2] “Principle of Naval Weapons”, *CDR Joseph Rall, US Navy*.
- [3] Alessandro Machado Jacob, Elder Moreira Hemerly and David Fernandes “SAR Image Classification using supervised neural Classifiers”, *Seminário de Tese, COMP’03, Sessão Técnica Oral*, 2003.
- [4] Eduardo Viegas Dalle Lucca and Antônio Frederico Bastos, “Sistema Imageador Infravermelho Termal: Características, Descrição e Resultados”, *Anais do X SBSR*, pp. 1433-1440, 21-26 Abril 2001, INPE, Sessão Técnica Oral.
- [5] Cesar Boschetti, “Detectores de infravermelho – Princípios e Caracterização”, apostila obtida no site [www.las.inpe.br/~cesar](http://www.las.inpe.br/~cesar), consultado em Novembro de 2006.
- [6] Alexandre Beraldi, “HA-1 Fennec e sistema FLIR 2000 com data-link”, site [www.defesenet.com.br](http://www.defesenet.com.br), publicado em 12 de Outubro de 2006.
- [7] “Chapter 10 - Visible and Infrared Spectrum” da publicação “Fundamentals of Naval Weapons Systems”, *Weapons and Systems Engineering Department, United States Naval Academy*, Site <http://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/fun/index.html>, consultado em Novembro de 2006.
- [8] Alper Yilmaz, Khurram Shafique and Mubarak Shah, “Target tracking in airborne Forward Looking Infrared imagery”, *Image and Vision Computing*, No.21, pp. 623-635, 2003.
- [9] Yangl Chen, “SAR and FLIR image registration method”, United States Patent 6795590, September 2004, patente disponível no site <http://www.freepatentsonline.com/6795590.html>.
- [10] Rama Chellappa, Qinfen Zheng, Phillipe Burlina, Chandra Shekhar and Kie B. Eom, “On the Positioning of Multisensor Imagery for Exploitation and target recognition”, *Proceedings of the IEEE*, vol. 85, No.1, pp. 120-138, January 1997.