

PADRÃO DE BUSCA ELETRÔNICA NO TEATRO MARÍTIMO PARA AERONAVES DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA (FAB)

ELETRONIC SEARCH PATTERN IN THE MARITIME THEATER FOR BRAZILIAN AIR FORCE AIRCRAFTS

O Primeiro Tenente Aviador Helton Cesar Torres de Oliveira concluiu o CFO em 2012. Serviu durante quatro anos no Terceiro Esquadrão do Sétimo Grupo de Aviação (3°/7° GAV) onde atingiu a operacionalidade de Primeiro Piloto de Patrulha voando as aeronaves P-95A e P-95BM. Atualmente é Segundo Piloto de Patrulha da aeronave P-3AM no Primeiro Esquadrão do Sétimo Grupo de Aviação (1°/7° GAV).

Contato: heltonhcto@fab.mil.br



O Ten Cel Av Rafael Lemos Paes concluiu o CFO em 2001. Concluiu o Mestrado em Sensoriamento Remoto pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em 2009. Concluiu o Doutorado em Sensoriamento Remoto, também pelo INPE, em 2015, executando estágio de pesquisa de doutorado entre jan 2013 e jan 2015 na Università degli Studi di Napoli "Parthenope", Itália. Desde 2018, exerce a função de chefe da Divisão de Comando, Controle, Computadores, Comunicações, Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (C4ISR), no IEAv.

Contato: rafaelpaesrlp@fab.mil.br



RESUMO

A busca eletrônica é de suma importância no Teatro de Operações Marítimo (TOM), tendo em vista sua capacidade de detecção e reconhecimento do alvo independente da iluminação solar. É muito pouco afetada pelas condições meteorológicas. A informação sobre a superfície pode ser obtida a distâncias e alturas muito superiores às das buscas visuais, ainda assim, com alta acurácia posicional. Os sensores contribuem sobremaneira para uma melhor consciência situacional da operação de busca e salvamento. Este artigo propõe uma discussão sobre padronização do uso desses recursos disponíveis em aeronaves da FAB, despertando o debate do assunto nos esquadrões aéreos, além de estimular os departamentos coordenadores de busca e salvamento a considerar o uso destes equipamentos.

Palavras-Chave: Eletrônica, Sensor Radar, Busca e Salvamento, Teatro de Operações Marítimo.

ABSTRACT

Electronic search is of paramount importance at the Maritime Operations Theater, given its ability to detect and recognize the target independently of sunlight. It is very little affected by weather conditions. The information on the surface can be obtained at distances and heights much higher than those of visual searches, even so, with high positional accuracy. The sensors contribute greatly to a better situational awareness of the search and rescue operation. This article proposes a discussion on the standardization of the use of these resources available in FAB aircrafts, awakening the debate on the subject in air squadrons, in addition to encouraging the search and rescue coordinating departments to consider the use of this equipment.

Keywords: Electronic Search, Radar Sensors, Search and Rescue, Maritime Theater of Operations.

I – INTRODUÇÃO

Considera-se que a história da Busca e Salvamento tem como raiz os sentimentos de solidariedade e humanidade de pessoas que procuravam ajudar seus pares em situações de perigo. Foi na II Guerra Mundial, quando o resgate de tripulantes ingleses abatidos em combate revelou extraordinário êxito ao diminuir as perdas humanas, que o moderno Serviço de Busca e Salvamento teve sua origem. No teatro marítimo, diligências como a Convenção Internacional para a Salvaguarda da Vida Humana no Mar (Convenção SOLAS), a Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar (CNUDM, Jamaica 1982) e a Convenção Internacional de Busca e Salvamento Marítimo (Hamburgo, 1979) foram determinantes para padronizar os procedimentos a serem seguidos pelas diversas nações signatárias e torná-los cada vez mais eficientes. Com base nessas convenções, a Organização Marítima Internacional (IMO) em conjunto com a Organização da Aviação Civil Internacional (ICAO), criou o IAMSAR (*International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual*)[1], nele estão definidos todos os aspectos desse sistema, da delegação de competências entre os países à aplicação operacional das buscas em seus respectivos teatros.

Na sua última edição (2016), esse manual incluiu dentre suas técnicas de busca, o uso de sensores eletrônicos do tipo radar. Isso demonstra que a tecnologia avança em nosso tempo a passos largos e, especialmente quando se trata de salvar vidas, esses recursos não podem ser ignorados. A fim de que os setores de coordenação das missões de Busca e Salvamento (BS) e os responsáveis pelas doutrinas de emprego da Aviação de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (IVR) da FAB possam ter subsídios para analisar o contexto tecnológico disponível para cumprir a missão, este artigo tratará de alguns aspectos sobre a interação da energia eletromagnética na faixa das microondas com a atmosfera, a superfície marítima e com alvos metálicos. Por fim, serão também apresentados fatores que demonstram a importância de manter a consistência da geometria de imageamento, tanto para a interpretação das imagens em tempo real, quanto para o pós-processamento por meio de técnicas automáticas de extração de informações, como aprendizado de máquina e de inteligência artificial, potencializando os resultados da missão.

II – TECNOLOGIA SAR: VANTAGENS, CARACTERÍSTICAS DE IMAGEAMENTO E RELEVÂNCIA DO PROCESSAMENTO COMPUTACIONAL NA MISSÃO DE BS

Radares de Abertura Sintética (do inglês, *Synthetic Aperture Radar* – SAR) são sensores ativos que por meio de específico padrão de varredura e integração dos sinais recebidos no retorno, são capazes de obter informações bidimensionais de uma superfície em uma única visada [2]. A tecnologia SAR possui vantagens sobre os sistemas ópticos que devem ser consideradas no planejamento de uma missão de BS. A seguir, serão apresentados tais aspectos vantajosos desse tipo de imageamento.

A. TRANSPARÊNCIA ATMOSFÉRICA, BAIXA SUSCEPTIBILIDADE ÀS CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS E INDEPENDÊNCIA DA ILUMINAÇÃO SOLAR

O comprimento de onda (λ) na faixa das micro-ondas possui uma ordem de grandeza muito superior aos aerossóis, gotículas de água e demais partículas em suspensão na atmosfera. Por exemplo, na Banda X ($\approx 9,3\text{GHz}$), o λ seria de 3cm. Nesse caso, a diferença seria quatro vezes maior em termos de ordem de grandeza em comparação ao que se encontra na atmosfera (varia entre 4 a 6 μm) [2].

No entanto, existem condições atmosféricas extremas, nas quais há a formação de cristais de gelo no interior das nuvens (ex.: nuvens tipo *cumulus nimbus* - CB). Neste caso, os cristais aglutinam-se até atingir dimensões equiparáveis aos de λ . A extensão da obstrução dependerá diretamente da estrutura vertical e horizontal do CB. Na maioria dos casos, apenas parte da área imageada é afetada. O processamento digital dessas imagens permite a extração de informações que não são observadas por meio de interpretação visual [3]-[6].

O sensor SAR é um sistema de imageamento ativo, isto é, possui sua própria fonte de transmissão de energia. Isso o torna independente da necessidade de iluminação solar, conforme ocorre com sensores que operam no espectro óptico refletido [2]. A Fig. 1 apresenta um caso real da aeronave SC-105, sendo possível observar e comparar as respostas de um sensor eletroóptico (visível e termal) com as de um sensor SAR. Os sensores estão todos voltados para a mesma direção e a aquisição foi quase simultânea entre sensor óptico e SAR. Trata-se de um voo noturno e com grande cobertura de nuvens nas proximidades do aeroporto de Campo Grande - MS. Neste exemplo, notam-se as vantagens da transparência atmosférica e a independência da iluminação solar [7].

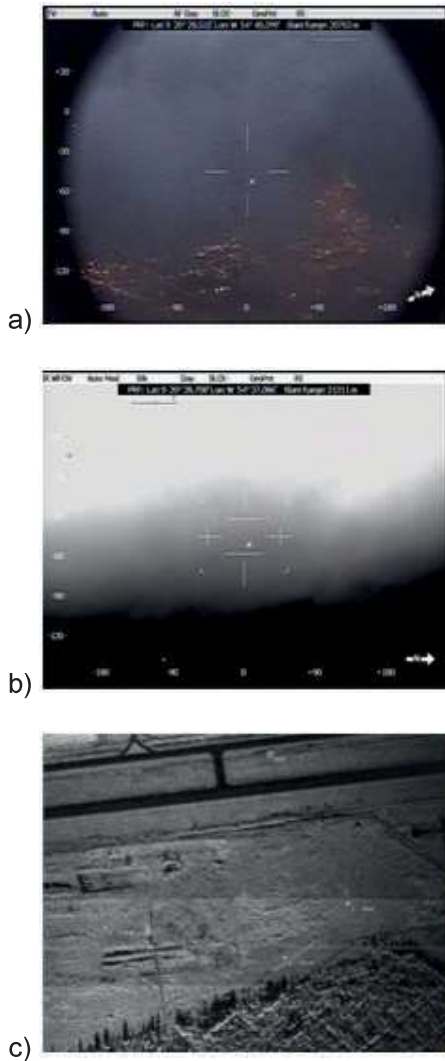


Figura 1 – Imagens dos sensores imageadores FLIR e SAR do SC-105 – Aeroporto de Campo Grande - MS. Todas as imagens possuem a mesma direção de visada e foram coletas quase que simultaneamente. Voo realizado em período noturno e com cobertura de nuvens sobre o aeródromo e cercanias. Figura a) Imagem FLIR, faixa do visível. Figura b) Imagem FLIR, faixa do termal. Figura c) Imagem SAR.

Fonte: Cortesia do 2º/10º GAV [7].

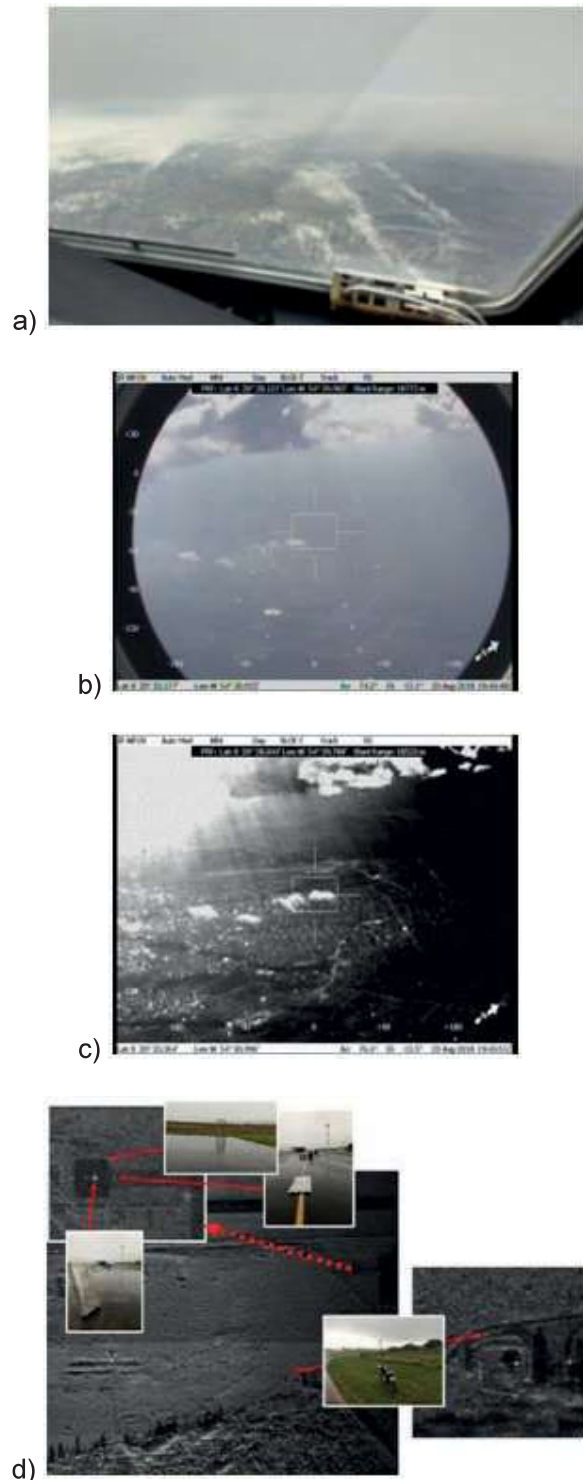
B. ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL À LONGA DISTÂNCIA E À ELEVADA ALTITUDE: IMPORTÂNCIA DE OBSERVAR A GEOMETRIA DE IMAGEAMENTO

Outra significativa vantagem da tecnologia SAR é sua capacidade de obter informações de uma superfície a distâncias verticais e horizontais muito superiores do que os sensores ópticos são capazes. Objetos podem ser detectados e/ou reconhecidos em resoluções espaciais mais finas em comparação ao que, por exemplo, um sensor eletroóptico (câmera FLIR) seria capaz.

A Fig. 2 também apresenta uma situação real obtida pelos sensores imageadores a bordo do SC-105. Ainda em condições de voo diurno e com céu parcialmente coberto por nuvens. O perfil do voo foi realizado a aproximadamente 11.000ft de altitude e

a 18NM da área observada, o aeroporto de Campo Grande – MS [7]. Todas as imagens possuem a mesma direção de imageamento e de observação.

É possível comparar a capacidade da observação visual (Fig. 2a), com o sensor eletroóptico no visível (Fig. 2b) e termal (Fig. 2c), e com o sensor SAR (Fig. 2d e Fig. 2e). Na Fig. 2d, é possível notar objetos metálicos como telhas e placas com comprimento de cerca de 1,60m a 1,80m, além da motocicleta. Na Fig. 2e, observam-se objetos metálicos menores com, aproximadamente, 0,80m de altura.



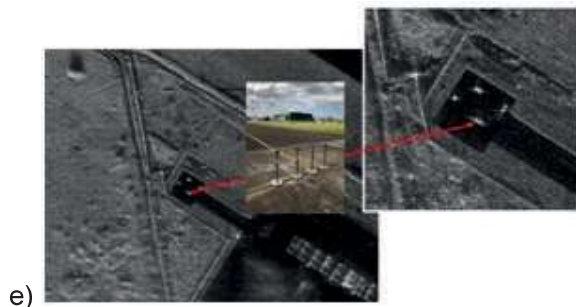


Figura 2 – Imagens dos sensores imageadores FLIR e SAR do SC-105 – Aeroporto de Campo Grande - MS. Todas as imagens possuem a mesma direção de visada e foram coletas quase que simultaneamente. Voo realizado em período diurno e com parcial cobertura de nuvens sobre o aeródromo e cercanias. Figura a) Exemplo de observação visual para a direção da região imageada. Figura b) Imagem FLIR, faixa do visível. Figura c) Imagem FLIR, faixa do termal. Figura 2d) Imagem SAR com objetos metálicos entre 1,60m e 1,80m de comprimento. Figura e) Imagem SAR com pequenos objetos metálicos de 10cm de largura e 80cm de altura.

Fonte: Cortesia do 2º/10º GAV [7].

Durante a busca eletrônica com sensores SAR, informações da própria superfície podem ser extraídas, além da procura pelo alvo em si. No caso do ambiente marítimo, as micro-ondas interagem com a camada superficial da água, registrando informações não visíveis a olho nu. Informações como intensidade e direção do vento, correntes, ondas internas, esteiras de turbulência, manchas de óleo, entre outras, podem ser observadas nas imagens, uma vez satisfeitas algumas condições de imageamento [8]. Ainda que algumas demandem processamento computacional, tais informações podem contribuir para a consciência situacional e eventuais tomadas de decisão no decorrer da missão de busca.

A Fig.3 sintetiza todas essas vantagens da tecnologia SAR. A região é a entrada da Baía de Todos os Santos – BA. É possível observar uma área extensa, onde navios podem ser observados (Fig. 3a). A presença de mau tempo é notada por alguns núcleos com formação de gelo em nuvens tipo CB (Fig. 3b). Outros fenômenos da interação oceano-atmosfera também podem ser observados, como uma frente de ondas (Fig. 3c) e a direção do vento (Fig. 3d). Isso permite uma valiosa consciência situacional, principalmente, quando se busca alvos à deriva e não há informações precisas sobre o ambiente em alto mar. Esta imagem foi gerada a partir de um sensor SAR orbital a bordo do satélite Sentinel-1. O planejamento da patrulha marítima pode começar a partir da observação por sensores orbitais [8]. No entanto, essa discussão será deixada para uma outra oportunidade.

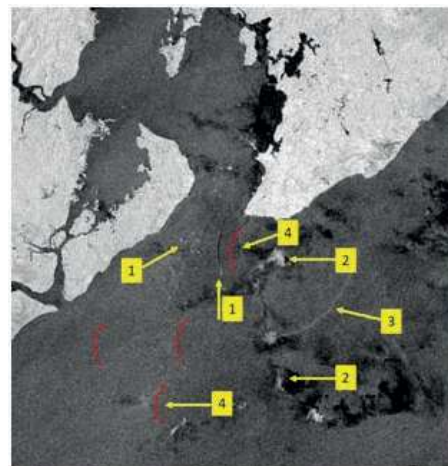


Figura 3 - Imagem do satélite Sentinel-1 – Banda C. Baía de Todos os Santos- BA. Obtida em 24/05/2020, às 05h11min, hora local. Na marcação 1 - Navios mercantes. Marcação 2 - Algumas formações tipo CB. Marcação 3 - Frente de ondas. Marcação 4 - Índícios da direção do vento.

Fonte: Copernicus Open Access Hub – ESA [9].

Portanto, constata-se que a tecnologia SAR permite que a busca possa ser realizada em períodos noturnos, com cobertura de nuvens em quaisquer níveis de voo, altante e distante da área a ser observada. Estes dois últimos aspectos estão relacionados à geometria de imageamento. Toda a qualidade da imagem e capacidade de discriminação dependem de um perfil de voo estável e que permita a angulação adequada para a transmissão e recepção dos pulsos eletromagnéticos. A seguir, a importância da manutenção de tal geometria e os impactos que proporcionam ao pós-processamento das imagens serão discutidos.

C. GEOMETRIA DE IMAGEAMENTO E SUA IMPORTANCIA PARA A INTERPRETAÇÃO DAS IMAGENS E DO PÓS-PROCESSAMENTO

A adequada geometria de imageamento permitirá que os pulsos incidam sobre os alvos e a superfície nos ângulos propícios que contribuem para a melhor interação da onda eletromagnética com o meio. Assim, o devido retroespalhamento portará informações de área (RCS) a fim de descrever fisicamente tais pontos observados. A modificação da geometria de imageamento, seja pelos ângulos de incidência (subindo ou descendo/ aproximando ou afastando da área-objetivo), seja pela mudança súbita de direção, afetará o aspecto da iluminação radar e diferentes porções de área poderão ser registrados [2].

A Fig. 4 apresenta os esquemas que exemplificam as duas dimensões da resolução espacial SAR, azimutal (az) e radial (rad). Demonstra o efeito da distância percorrida pelo pulso. Quanto mais distante, maior será a dispersão da energia desse pulso, degradando a resolução azimutal.

A Eq. 1 descreve a relação entre a distância percorrida (R) e a abertura do feixe na direção azimutal (β_h). Note que a resolução radial será influenciada pela variação do ângulo de incidência (θ). A Eq. 2 descreve a relação entre a largura de pulso (τ_p), a velocidade de propagação da energia eletromagnética no vácuo (c) e θ .

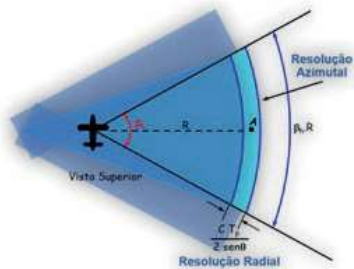


Figura 4 - Resoluções azimutal e radial. O efeito da distância e do ângulo de incidência sobre a célula de resolução.

Fonte: Autores.

$$\rho_{az} = \beta_h R \quad (1)$$

Onde, ρ_{az} é a resolução azimutal, β_h é a abertura do feixe na horizontal, e R é a distância radial percorrida pelo pulso.

$$\rho_{rad} = (c\tau_p) / (2 \sin \theta) \quad (2)$$

Onde, ρ_{rad} é a resolução radial, c é a velocidade de propagação da energia eletromagnética no vácuo, τ_p é a largura de pulso, e θ é o ângulo de incidência.

A geração da imagem SAR é feita pelo processador interno de cada sistema após a chegada dos pulsos retroespalhados. O processo realiza a compressão dos pulsos no sentido radial e azimutal, realizando o casamento de cada sinal predominante recebido a cada posição estimada. A variação do perfil do voo em velocidade e na geometria fará com que aumente a complexidade do processo de focalização dessas energias recebidas [10].

Deste modo, ressalta-se a importância de compreender o papel do perfil de voo para o imageamento. Respeitando-se as especificações técnicas do sensor e os limites de segurança da aeronave, é possível variar essa geometria com consciência. Principalmente, no ambiente marítimo, por ser dinâmico, tanto horizontal, quanto verticalmente. A modificação da visada do feixe e do ângulo de incidência podem contribuir para a detecção de pequenos alvos [11].

Outro aspecto importante para a operação sistemática quanto à geometria de imageamento reside na possibilidade de pós-processar tais imagens, usando recursos computacionais.

A visão humana é limitada quanto à discriminação de detalhes em tons de cinza [7]. Atualmente, no campo da pesquisa, muitos algoritmos baseados em inteligência artificial estão sendo desenvolvidos no âmbito do DCTA. Entretanto, é fundamental a coleta e o registro organizado desses dados a fim de que a eficiência esperada possa ser atingida [11]-[13].

III – IAMSAR

De acordo com [1], a técnica básica para varredura de uma área é mover observadores e/ou sensores sobre esta, usando um perfil padrão. Essa técnica traz vários benefícios, quais sejam:

- Um perfil de busca regular e organizado assegura que toda a área foi coberta praticamente de maneira uniforme;
- Perfis padrão incrementam a POD (*Probability of Detection*) quando comparados a buscas aleatórias, desorganizadas, principalmente em condições ideais de busca;
- Perfis padrão são fáceis de se comunicar com precisão e de forma compacta, com menos chance de erro ou desentendimentos;
- Perfis padrão fazem com que esforços de busca envolvendo múltiplos recursos sejam fáceis de se coordenar; e
- Perfis padrão são mais seguros de se realizar, principalmente em esforços de múltiplos recursos.

Em [1], os padrões de busca dividem-se em quatro categorias: i. Padrões de Busca Visual; ii. Padrões de Busca Eletrônica; iii. Padrões de Busca Noturna; e iv. Padrões de Busca no Solo.

Para as buscas visuais, o manual descreve detalhadamente o perfil a ser seguido para cada padrão, assim como para os Padrões de Busca Eletrônica referentes à localização de uma baliza de emergência. Entretanto, para a parte de Busca Eletrônica por Sensores Radar, ele apenas descreve as seguintes premissas: “Radar é usado de forma primária da busca marítima”; “A largura de varredura a ser aplicada no cálculo da área de busca ótima, vai depender do tipo de radar, altura da antena, quantidade de ruído do ambiente, *Radar Cross-Section* (RCS) do objeto da busca (área do objeto suscetível à refração do pulso), refração do feixe do radar com relação à atmosfera e habilidade do operador”.

Como podemos observar, o IAMSAR não padroniza perfis de busca eletrônica, devido a especificidade dos sensores de cada nação. Portanto, após elucidada a importância de se ter perfis padronizados e tendo em vista que o manual não o faz para as buscas eletrônicas, conclui-se que, dentro do Brasil, cabe à FAB desenvolver padrões

de busca que otimizem a utilização de seus equipamentos radar.

Ainda se complementa em [1] que “Para aeronaves, a altitude da busca deve normalmente variar entre 800m e 1.200m (2.400ft a 4.000ft) para pequenos objetos de busca. A altitude para grandes objetos de busca não deve exceder 2.400m (8.000ft). É aconselhável consultar o piloto em comando para estimar a largura de varredura do radar e estabelecer um espaçamento adequado para as condições de busca existentes” [1]. Porém, os avançados estudos na área de sensoriamento remoto e em radares de abertura sintética comprovam que o perfil de voo para essa técnica envolve padrões altantes, devido os benefícios trazidos pelo menor ângulo de incidência nas imagens SAR. Portanto, a altitude da busca eletrônica não pode ser limitada à altitude de 8.000ft, sob o risco de subutilização dos equipamentos embarcados.

IV – SUGESTÃO DE PADRÃO DE BUSCA

É importante ressaltar que as sugestões aqui apresentadas se aplicam à busca de embarcações no teatro marítimo, e que a busca eletrônica para alvos menores que um pesqueiro pequeno (50m²) demandarão mais pesquisas, pois o estado do mar exerce forte influência no retroespalhamento do sinal transmitido. Para alvos muito pequenos, seus sinais poderiam ser confundidos com os do mar agitado.

As aeronaves P-3AM, SC-105 e P-95BM possuem SAR embarcado com capacidade de detecção de alvos. Os projetos são frequentemente utilizados nas ações de Busca e Salvamento marítimo. A sugestão apresentada no artigo baseia-se no cumprimento de um perfil de busca em que se utiliza o modo padrão de varredura radar do sensor para a detecção de alvos e o uso do modo ISAR do P-3AM. Entretanto, raciocínio similar pode ser feito para os modos *Stripmap* e *Spot* do SC-105 e do P-95BM.

Para exemplificar a eficácia de se empregar a busca eletrônica antes das buscas visuais, usaremos o exemplo de uma área de probabilidade de 80NM x 80NM. Para o esclarecimento visual da área, tomemos o padrão visual mais empregado e que levaria menos tempo para ser cumprido, o padrão de Rotas Paralelas.

Levando-se em consideração que as aeronaves citadas têm diferentes capacidades de autonomia, as equipagens possuem carga máxima de trabalho por etapa e outros fatores logísticos que em muito elevariam o tempo para esclarecimento da área de probabilidade, consideremos o tempo que levaria um imenso perfil de rotas paralelas cobrindo toda a área.

Trata-se de um padrão composto de 40 pernas de 80NM cada, totalizando 3.200NM (Fig. 5).

Podemos considerar ainda que se gasta 1 (um) minuto para reenquadrar cada perna, onde 39 reenquadramentos adicionam 39 minutos ao tempo de voo.



Figura 5 - Perfil padrão de busca visual.

Fonte: Autores.

Para cumprir esse imenso padrão de busca, cada aeronave despenderia um determinado tempo conforme relacionado na Tabela 1.

Tabela 1 - Tempo de cumprimento do padrão de busca visual.

VELOCIDADE NA BUSCA (VI)	TEMPO NO PADRÃO	TEMPO TOTAL (+39 MIN)
180KT	17h 47m	18h 26m
160KT	20h	20h 39m
140KT	22h 51m	23h 30m

Por sua vez, o perfil sugerido para o P-3AM consistiria num quadrado com lado igual a 80 NM, resultando em um alcance ISAR de 56,6NM e, para isso, sendo necessário empregar uma altitude mínima de 3.097ft (Fig. 6).



Figura 6 - Perfil Sugerido 1 para busca eletrônica.

Fonte: Autores.

Como a velocidade para reconhecimento eletrônico é maior que a empregada na busca visual, o tempo necessário ao cumprimento do Padrão Sugerido 1 está discriminado na Tabela 2.

Tabela 2 - Padrão Sugerido 1: Tempo para cumprimento do padrão de busca eletrônica.

VELOCIDADE NA BUSCA (VI)	TEMPO NO PADRÃO
230KT	1h 23m
180KT	1h 46m
160KT	2h

A fim de prever a possibilidade de variar a geometria de imageamento, conforme a consciência situacional sobre um ambiente dinâmico, um segundo perfil é sugerido. Para os parâmetros ora utilizados do P-3AM, consistiria em polígono retangular com pernas de 90NM com separação de 12 NM (Fig. 7). Note a possibilidade de avançar ou recuar em direção a ponto observado. Este seria o sentido preferencial de variação da geometria de imageamento. Também seria possível subir ou descer, porém outros fatores de navegação e de segurança de voo deverão ser considerados para tal decisão. Em ambos os casos, mas dentro do segundo perfil, tornam-se indicados quando a busca apontar para uma região de análise mais reduzida. A Tabela 3 exemplifica os tempos de voo para cada tipo de aeronave ao percorrerem esse perfil.



Figura 7 - Perfil Sugerido 2 para busca eletrônica.

Fonte: Autores.

Tabela 3 - Padrão Sugerido 2: Tempo para cumprimento do padrão de busca eletrônica.

VELOCIDADE NA BUSCA (VI)	TEMPO NO PADRÃO
230KT	53m
180KT	1h 8m
160KT	1h 16m

Há de se ressaltar que o uso de outros equipamentos embarcados como o FLIR (*Forward Looking InfraRed*) podem otimizar em muito a busca eletrônica, seja reduzindo seu tempo de voo ou esclarecendo melhor alguns contatos.

A economia de tempo gerada pelos padrões sugeridos é de mais de 90% comparado ao tempo gasto no padrão visual. Quanto maior a área de probabilidade, mais expressiva é a diferença entre os dois perfis. Porém, para áreas de probabilidade retangulares com comprimento muito maior que a largura, a diferença entre os perfis se torna menos expressiva.

Nos cálculos também foram desconsiderados o tempo de esclarecimento visual (o único disponível da busca visual) que é consideravelmente superior ao do esclarecimento eletrônico. Por vezes, a técnica eletrônica demandará saídas da trajetória para mudança do ângulo de incidência do alvo (melhor esclarecimento), procedimentos que somados aumentam em média 20% do tempo de busca.

Uma vez considerada a área esclarecida eletronicamente, porém sem êxito no encontro do objeto da busca, sugere-se o início da fase de buscas visuais.

V – CONCLUSÕES

A busca eletrônica, como o próprio IAMSAR diz, deve ser usada de forma primária na busca marítima, devido a elevada probabilidade de se encontrar o objeto da busca nesse tipo de varredura. Fica nítido como, considerando o tempo despendido pela busca eletrônica, o uso dessa técnica só traz benefícios às operações de busca e salvamento. Por mais que não se encontre o objeto da busca, existe a possibilidade de levantamento de dados importantes como:

- Mapeamento das áreas de maior concentração de embarcações, permitindo um melhor ajuste no planejamento da operação;
- Previsibilidade de contatos nas buscas visuais evita perda de tempo investigando um alvo já descartado; e
- Identificação do possível estado do objeto da busca. A observação de destroços no mar pode indicar uma embarcação avariada e haver a necessidade de dar outro rumo à operação;

Podemos destacar também as seguintes vantagens operacionais:

- Ininterruptividade das operações. Uma busca eletrônica noturna, em conjunto com recursos de salvamento com capacidade NVG (*Night Vision Googles*) garantem a não dependência da luz solar para se cumprir a missão;
- Melhor consciência situacional do TOM;
- Menos prejuízos na evolução da operação por advento de condições meteorológicas desfavoráveis;
- Economia de combustível e recursos logísticos para as Forças Armadas Brasileiras;

- Perfis de busca eletrônica padronizados reduzem o efeito de uma das variáveis no cenário que é o conhecimento do operador/coordenador tático;

- A padronização também permite que técnicas de inteligência artificial sejam desenvolvidas para auxiliar no pós-processamento das imagens; e

- Para casos muito afastados da costa (em que há pouco tempo disponível na área de busca devido à autonomia da aeronave) a otimização do tempo é fundamental.

Muito mais do que as velocidades e distâncias propostas, é fundamental a observância da relevância de conhecer os impactos do bom uso da geometria de imageamento no padrão de busca eletrônica. Isso contribuirá para a análise em tempo real a bordo da aeronave e para o estabelecimento de bibliotecas de alvos, visando a automação futura dessas detecções via processamento computacional.

Nós já possuímos a tecnologia adequada e também temos o conhecimento sobre como utilizá-la. O próximo passo é discutir como levar a conjunção desses fatores à prática operacional, tornando-a doutrina.

REFERÊNCIAS

[1] IMO, ICAO **INTERNATIONAL AERONAUTICAL AND MARITIME SEARCH AND RESCUE MANUAL – IAMSAR VOLUME II 2016 EDITION**

[2] LORENZZETTI, J. A. **Princípios Físicos de Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Blucher, 2015. Capítulo 14. p. 211. ISBN 978-85-212-0835-8.

[3] PAES, R. L., NUNZIATA, F., SHIGUEMORI, E. H., MIGLIACCIO, M. and MONTUORI, A. **“COSMO-SkyMed SAR data to observe small metallic objects from ocean crashed aircraft,”** IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vancouver, BC, 2011, pp. 2869-2872, doi: 10.1109/IGARSS.2011.6049813.

[4] PAES, R. L., PAGAMISSE, A. **Wavelets and Decision Trees for Target Detection Over Sea Surface Using Cosmo-SkyMed SAR Data**. In: Convergence and Hybrid Information Technology - 5th International Conference, ICHIT 2011, 2011, Daejeon, South Korea. Lecture Notes in Computer Science. Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2011. v. 6935. p. 582-589.

[5] MIGLIACCIO, M., NUNZIATA, F., MONTUORI, A. and PAES, R. L. **“Single-Look Complex COSMO-SkyMed SAR Data to Observe Metallic Targets at Sea,”** in IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 5, no.

3, pp. 893-901, June 2012, doi: 10.1109/JSTARS.2012.2184271.

[6] PAES, R. L., MEDEIROS, I. P. . **Investigation of Entropy Nets induced by Oblique Decision Trees for Target Detection in Ocean SAR**. In: 6th International Conference, ICHIT 2012, 2012, Daejeon. Convergence and Hybrid Information Technology, 2012. v. 310. p. 129-136.

[7] MACHADO, F.O. **SAR²: técnicas de inteligência computacional em imagens SAR aplicadas à missão de busca e salvamento**. Realização do Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos: ITA, 2018. 67 p. (DCTA/ITA/TC-016/2018).

[8] PAES, R. L., LORENZZETTI, J. A., GHERARDI, D. F. M. **Patrulha Marítima apoiada por técnica de extração de informações de dados de satélites**. In: Simpósio de Guerra Eletrônica (SIGE), 2007, São José dos Campos. IX Simpósio de Guerra Eletrônica, 2007.

[9] COPERNICUS OPEN ACCESS HUB – ESA.2014-2020
Disponível em: <<https://scihub.copernicus.eu/>>..
Acesso em: 10 jun 2020.

[10] WEHNER, D. R. **High Resolution Radar**. Norwwood: Artech House, 1995. Capítulo 5. p. 200. ISBN 0-89006-727-9.

[11] STABILE, G. H. Q. **Banco de imagens SAR para treinamento de técnicas de inteligência computacional aplicadas à missão de busca e salvamento**. Realização de Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos: ITA, 2019. 120 p. (DCTA/ITA/TC-018/2019).

[12] FALQUETO, L. E. **Reconhecimento de alvos artificiais em ambientes complexos por meio de imagens SAR polarimétricas obtidas por plataformas orbitais**. Realização de Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Ciências e Tecnologias Espaciais. São José dos Campos: ITA, 2019. 133 p. (DCTA/ITA/DM-055/2019).
Disponível em:
http://www.bdita.bibl.ita.br/tesesdigitais/lista_resumo.php?num_tese=76087. Acesso em: 18 jun. 2020.

[13] FALQUETO, L. E., SÁ, J. A. S., PAES, R. L. and PASSARO, A. **Oil Rig Recognition Using Convolutional Neural Network on Sentinel-1 SAR Images**” in IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, vol. 16, no. 8, pp. 1329-1333, Aug. 2019, doi: 10.1109/LGRS.2019.2894845.