



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2021

MARCIO VINICIUS **PERASSOLI**, Cap Av

Ganhos operacionais de satélites de sensoriamento remoto radar (SAR)
dotados de supressão de interferência

Rio de Janeiro

2021

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2021

MARCIO VINICIUS PERASSOLI, Cap Av

**Ganhos operacionais de satélites de sensoriamento remoto radar (SAR)
dotados de sistemas de supressão de interferência**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no MBA em Gestão de Projetos e Processos.

Linha de Pesquisa: Emprego da Força Aérea.

Orientador: Edivaldo Pires Figueiredo, Maj Esp Sup.

Rio de Janeiro

2021

MARCIO VINICIUS **PERASSOLI**, Cap Av

**Ganhos operacionais de satélites de sensoriamento remoto radar (SAR)
dotados de sistemas de supressão de interferência**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da
Aeronáutica.

Aprovado por:

Edivaldo Pires de **Figueiredo**, Maj Esp Sup
EAOAR

Tháís de Jesus Pires de Souza, Cap Int
EAOAR

Rio de Janeiro

2021

RESUMO

O emprego de Satélites de Sensoriamento Remoto SAR apresenta tendência de aumento de sua aplicação, especialmente por suas características de operação. Destacam-se dentre delas, imageamento independentemente da luz solar e da cobertura de nuvens. Torna-se, portanto, desejável garantir a plena potencialidade de emprego desses satélites em cenários ruidosos, assegurada através dos ganhos operacionais providos por sistemas de supressão de interferência. Uma das modalidades de perturbação é a degradação de dados de *downlink* causada por *jamming* no Sistema de Controle e Navegação do satélite. Como prevenção, sistemas de supressão de interferência, embarcados na plataforma espacial, são capazes de blindar esses sinais espúrios, permitindo a garantia da confiabilidade de *downlink* dos dados e dessa forma, assegurando a integridade dos dados que foram imageados. Outro ganho operacional evidenciado neste ensaio foi o aumento da qualidade de dados de coerência quando aplicações de detecção de mudança são o foco, como, por exemplo, terremotos. A referida redução é provocada pela garantia da qualidade das imagens que os sistemas de supressão de interferência imprimem em situações que há necessidade de dados orbitais SAR em passagens sucessivas ao evento de interesse. Portanto, face às importantes e evidentes vantagens operacionais impostas pelos sistemas de supressão de interferências e vislumbrando que os mesmos possam estar presentes em requisitos das próximas contratações de sistemas espaciais, este ensaio demonstrou uma possibilidade concreta de elevação da capacidade aeroespacial Brasileira acompanhando as evoluções tecnológicas de sorte a projetar o país no cenário internacional como referência em sensoriamento remoto.

Palavras-chave: Radar de Abertura Sintética. Satélite. Interferência.

1 INTRODUÇÃO

Aplicações de Imageamento por Satélite Radar de Abertura Sintética (SAR) têm se tornado uma ferramenta valiosa tanto para aplicações militares quanto civis. A referida dualidade de aplicação é inclusive abordada no Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE).

Com relação a aspectos estratégicos, Peixoto (2011) menciona que sistemas de radar SAR são um recurso único para suporte ao teatro de operações terrestres, por proverem dados com resoluções e tempos de resposta consonantes às necessidades militares. Portanto, sob uma visão estratégica, formas de comprometer a utilização destes recursos se torna uma necessidade de garantia da soberania para as Forças Armadas (PEIXOTO, 2011).

No âmbito operacional de sensores orbitais SAR, estes sistemas podem ser submetidos a interferências causadas por agentes não intencionais em cenários completamente distintos, ou seja, tanto na Terra quanto no espaço. Danklmayer *et al.* (2009) menciona que a qualidade de imagens destes sensores é degradada tanto em cenários de chuva intensa quanto em regiões com volumosa radiação eletromagnética, respectivamente. Exemplos destas áreas são Florestas Tropicais como a Amazônia e conurbações como regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro.

Quanto às interferências intencionais (*jamming*), Manulis *et al.* (2020) comenta a existência dessa modalidade com 19 incidentes num período de 30 anos. Shi-zhong *et al.* (2017), complementa que uma atividade de interferência intencional do emprego do sensoriamento remoto SAR pode ser efetivada se a plataforma Espacial for suscetível a interferências em seu Sistema Rádio Navegação e de Atitude. Esse tipo de interferência, por exemplo, afeta a estabilidade do Satélite impossibilitando comparações de séries temporais, empregadas em atividades de desmatamento e monitoramento de atividades civis e/ou de inteligência (GERMANI *et al.*, 2015).

Face ao exposto, as perturbações supracitadas afetam diretamente a interpretabilidade das cenas, o que impossibilita a pronta avaliação dos analistas.

Esse efeito tem consequência na elevação do tempo de resposta para a análise situacional de um cenário de desastre natural ou de conflito.

Desta forma, este trabalho visa demonstrar que o emprego de Satélites SAR providos com sistemas de supressão de interferências possui vantagens operacionais. Estas vantagens baseiam-se em argumentos como a elevação da confiabilidade dos dados de *downlink* da plataforma espacial e o aumento da qualidade de dados de coerência empregados para aplicações de detecção de mudanças.

Quanto ao primeiro argumento supracitado, sua vantagem operacional é apoiada pela garantia da qualidade/integridade dos dados orbitais que são trafegados entre o satélite e a estação de solo. Com relação ao segundo argumento, o ganho operacional evidencia-se pela qualidade dos produtos de detecção de mudanças apoiada pelo aumento da fidedignidade dos dados de coerência impostos por sistemas espaciais com supressão de interferência. A introdução do ensaio acadêmico deve apresentar os seguintes elementos: contextualização que leve o leitor à situação-problema; tese devidamente apresentada, clara, pontual, relevante e factível; argumentos que sustentem a tese, mas que não sejam mero desdobramento da tese (partir a tese em duas e dizer que cada parte é um argumento).

2 DESENVOLVIMENTO

Plataformas orbitais de Sensoriamento Radar SAR são de extrema importância para imageamento de aplicações duais, e seu emprego apresenta tendência de aumento, conforme abaixo exposto:

[...] a habilidade de monitorar amplas áreas com alta resolução independentemente da luz solar, da vegetação e da cobertura de nuvens provê aos Sensores de Radar de Abertura Sintética (SAR) vantagens sobre sensores ópticos. Apesar dos custos relativamente elevados, os dados gerados por estes sensores são de considerável importância para atividades civis e de Defesa, principalmente em países de dimensões continentais como o Brasil. De fato, o uso de Satélites SAR tem apresentado constante crescimento nos últimos anos.(COSTA e PASSARO, 2015, p. 1).

Face à importância demonstrada, torna-se desejável assegurar a plena potencialidade de emprego das plataformas espaciais SAR em cenários ruidosos os quais, em muitas vezes, são recorrentes para o usuário dependendo das características do seu território. Como exemplo de cenários de emprego, alguns ambientes operacionais de ações da Força Aérea Brasileira são ilustrativos de condições ruidosas ao imageamento SAR, a saber: Florestas Tropicais e metrópoles, por possuírem regimes severos de precipitação e elevada densidade de emissões eletromagnéticas, respectivamente.

De maneira geral, Mingliang *et al.* (2019) complementa que a mencionada maximização do emprego destas plataformas de sensoriamento permeia pela garantia da qualidade/integridade dos seus dados adquiridos durante o imageamento.

Face ao exposto, torna-se evidente que sistemas capazes de diminuir a probabilidade de degradação dos dados de plataformas de sensoriamento remoto radar provêm ganhos operacionais consideráveis os quais colaboram significativamente para a plena utilização das potencialidades do sensor espacial SAR.

2.1 Confiabilidade do downlink dos dados orbitais

Zhou (2012) descreve que a atividade de *jamming* é caracterizada quando um agente causador emite interferência propositalmente em direção ao sistema espacial, tanto no seu segmento terrestre (estação de recebimento de dados de solo) ou espacial (satélite). Historicamente, o interesse por *jamming* sobre plataformas espaciais SAR não é recente. Segundo Stokes (1999), desde o começo da década dos anos de 1990, a China tem realizado estudos de viabilidade sobre este tema. Manulis *et al.*(2020) menciona, a partir de dados públicos, o registro com 19 incidentes desse tipo. Entretanto, o autor estima ser bem maior esse número. De maneira geral, Mingliang *et al.* (2019) complementa que a mencionada maximização do emprego destas plataformas de sensoriamento permeia pela garantia da qualidade/integridade dos seus dados adquiridos durante o imageamento. O comentário exposto explicita, portanto, a

clara importância de se preservar os dados de sensoriamento remoto com influência direta na utilização plena do meio espacial.

Sob o ponto de vista operacional, recursos de supressão de *jamming* em embarcados no segmento espacial, mais especificamente nos sistemas de Controle e Navegação, produzem blindagem aos sinais espúrios provenientes de *jamming*. Desta forma, esse recurso possibilita a vantagem operacional de elevação da confiabilidade de *downlink* dos dados do satélite (SHI-ZHONG *et al.*, 2017, p.1). Este benefício é extrapolado para a qualidade das imagens as quais são aplicadas em atividades que envolvam comparações de séries temporais como evolução de desmatamento, construção de pistas ilegais (GERMANI *et al.*, 2015, p.3) além de rastreamento de alvos (QUEROL, 2018).

2.2 Qualidade dos insumos de dados SAR para detecção de mudanças

Em aplicações civis de sensoriamento remoto empregando sistemas espaciais radar, Watanabe *et al.* (2016) cita que estes sistemas possuem demanda imediata por detecção de danos severos em áreas urbanas por possibilitarem a medição de movimentos da superfície terrestre, como por exemplo, terremotos. A referida aplicação baseia-se em dados chamados de segunda ordem, ou seja, o produto de detecção de mudanças é fundamentado em mais de uma aquisição de imagem sobre a mesma área de interesse, a fim de se aferir o grau de coerência entre os dados das passagens subsequentes da plataforma espacial (MINGLIANG *et al.*, 2019).

Tendo em vista que a vasta maioria do Território Nacional possui áreas com potenciais cenários ruidosos para satélites SAR (ZHANG *et al.*, 2018, p. 4), a redução da suscetibilidade de interferências apresenta-se fundamental para garantir que a aplicação de detecção de mudanças possa plenamente ser empregada em todo país. Doerry (2016) complementa que esse tipo aplicação é severamente dependente da qualidade dos dados de coerência empregados, enfatizando que a aferição de coerência entre imagens de instantes diferentes carece de dados de qualidade e precisos.

Considerando a perspectiva operacional, Mingliang *et al.* (2019) cita que sistemas de supressão de interferência aumentam a qualidade dos dados SAR de coerência quando em aplicações de sensoriamento que necessitam de mais de uma passagem de satélite para sua formação, como produtos de detecção de mudança. A referente citação, portanto, evidencia a vantagem operacional que a adoção de sistemas espaciais dotados de supressores sinais espúrios produzem quando há necessidade de dados orbitais em passagens sucessivas do satélite.

Vu *et al.* (2017) complementa a vantagem operacional acima, afirmando que em resultados experimentais, sistemas de supressão de interferência em sistemas espaciais SAR reduzem significativamente a probabilidade de falsas indicações em aplicações de detecção de mudanças.

Dessa forma, aplicações de grande interesse nacionais e que envolvam observação de deslizamentos de terra ou movimentação de barragens serão mais fidedignas com a realidade do acontecimento ao se utilizar sensores SAR providos com o referido ganho operacional. Um exemplo que envolve aplicação de aferição do grau de coerência de dados de satélite SAR, ou seja detecção de mudanças, é na profilaxia de novos incidentes de deslizamento de barragens, como o episódio de Mariana e Brumadinho.

3 CONCLUSÃO

O emprego de Sistemas Espaciais de Sensoriamento Remoto SAR apresenta tendência de aumento de sua aplicação, especialmente por suas características de operação. Destacam-se dentre delas, imageamento independentemente da luz solar, da cobertura de nuvens e muitas vezes sob chuva. Além disso, Radares de Abertura Sintética são capazes de imagear áreas bem mais extensas que sistemas ópticos.

Considerando a importância demonstrada, torna-se desejável garantir a plena potencialidade de emprego das plataformas espaciais SAR em cenários ruidosos, a qual é assegurada através dos ganhos operacionais providos por sistemas de supressão de interferência.

Uma das modalidades de perturbação é a degradação de dados de *downlink* causada por *jamming* no Sistema de Controle e Navegação do satélite. Como antídoto a esta ameaça, sistemas de supressão de interferência, embarcados na plataforma espacial, são capazes de blindar esses sinais espúrios, permitindo o aumento da confiabilidade de *downlink* dos dados e dessa forma, assegurando a integridade dos dados que foram imageados. Outro ganho operacional evidenciado neste ensaio foi o aumento da qualidade de dados de coerência quando aplicações de detecção de mudança são o foco, como, por exemplo, terremotos. A referida elevação é provocada pela garantia da qualidade das imagens que os sistemas de supressão de interferência imprimem em situações que há necessidade de dados orbitais SAR em passagens sucessivas ao evento de interesse.

Portanto, face às importantes e evidentes vantagens operacionais impostas pelos sistemas de supressão de interferências e vislumbrando que os mesmos possam estar presentes em requisitos das próximas contratações de sistemas espaciais, este ensaio demonstrou uma possibilidade concreta de elevação da capacidade aeroespacial Brasileira acompanhando as evoluções tecnológicas de sorte a projetar o país no cenário internacional como referência em sensoriamento remoto. Ressalta-se ainda que as referidas vantagens estão alinhadas ao PMAER¹, pois são pertinentes ao aprimoramento da doutrina aeroespacial frente as evoluções tecnológicas.

¹PEMAER – PCA 11-47 – Plano Estratégico Militar da Aeronáutica (BRASIL, 2018)

REFERÊNCIAS

- COSTA, M., PASSARO, A. **Trends for Spaceborn Synthetic Aperture Radar for Earth-Observation**. In: XVII Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa. Set. 2015.
- CHUNRUI, Y. *et al.* **SVD- Based Method for Radio Frequency Interference Supression Applied to SAR**. In: Defence Science Journal. Vol. 62, Nº 2, Mar. 2012
- DANKLMAYER, A., CHANDRA, M. **Analysis of Atmospheric Propagation Effects in TerraSAR-X IMAGES**. In: Proceedings of the IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Jun. 2008, Boston, Massachusetts, USA.
- DOERRY, Armin. **SAR data collection and processing requirements for high quality coherence detection**. In: SPIE CONFERENCE, mar. 2016.
- FISCH, Gilberto; MARENGO, José; NOBRE, Carlos. Clima Amazônia. São José dos Campos, 2010. Disponível em:
<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman/boletim/cliesp10a/fish.html#:~:text=O%20per%C3%Adodo%20de%20chuvas%20ou,entre%20um%20regime%20e%20outro.Acesso em: 26 set. 2020.>
- GERMANI, C.*et al.* **Compact SAR and Micro Sattelite Solutions for Earth Observation**. In: **SPACE SYMPOSIUM**, 31., 2015, Colorado Springs. **Anais [...]** . [S. L.]: Thales Alenia Space, 2015. p. 56-67.
- LI, S. *et al.* **Analysis and Study on Error Control Technology of Micro Satellite For Remote Sensing**. Ago.2017.
- LI, Y.; GUARNIERI, A.; HU, C.; ROCCA, F. **Performance and Requirements of GEO SAR Systems in the Presence of Radio Frequency Interferences**. In: REMOTE SENSINJ JOURNAL. Jan. 2018.
- MANULIS, M. *et al.* Cyber security un New Space. **INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION SECURITY**. [S. L.] Jan. 2020
- MELSHEIMER, Christian *et al.* Investigation of multifrequency/multipolarization radar signatures of rain cells over the ocean using SIR-C/X-SAR data. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**. [S. L.], p. 18867-18884. 15 ago. 1998.
- _____. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Gabinete do Comando da Aeronáutica. Portaria nº 2.102/GC3, de 18 de dezembro de 2018. Aprova a reedição do Plano Estratégico Militar da Aeronáutica – PEMAER para o período de 2018 a 2027 (PCA 11-47). **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 222, f. 536, 20 dez. 2018.

MINGLIANG, T. *et al.* **Mitigation of Radio Frequency Interference in Synthetic Aperture Radar Data: Current Status and Future Trends.** *In: REMOTE SENSING JOURNAL.* Set. 2019.

PEIXOTO, Jonas Sá. **Efeitos do Jamming de Ruído na Operação de Radares de Abertura Sintética (SAR).** 2011. 89 f. Dissertação (Programa de Mestrado) - Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (Ita), São José dos Campos, 2011.

QUEROL, Jorge Borràs. **Radio Frequency Interference Detection and Mitigation Techniques for Navigation and Earth Observation.** Barcelona. Set. 2018

SANAD; I. *et al.* **A Framework for Heterogeneous Satellite Constellation Design for Rapid Response Earth Observations.** *In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE,* mar. 2019.

STOKES, Mark. **China's Strategic Modernization: Implications for the United States.** US Army War College. Strategic Studies Institute. 1999.

VU, V. *et al.* **False Alarm Reduction in Wavelength-Resolution SAR Change Detection Using Adaptive Noise Canceler.** *In: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Symposium.* Jun. 2017.

WATANABE; M. *et al.* **Detection of damaged urban areas using interferometric SAR coherence change with PLASAR-2.** Planets and Space Institute. 2016

ZHANG,B. *et al.* **The Effect of Rain on Radar Backscattering from the Ocean.** *In: LI, X. et al. Advances in SAR Remote Sensing of Oceans.* CRC Press, 2018. p 120-134.