



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

HUGO **TIMÓTEO** DA SILVA, Cap Av

**Vigilância Marítima Contínua da Amazônia Azul com Radar de Abertura Sintética em
Satélites**

Rio de Janeiro
2025

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

HUGO TIMÓTEO DA SILVA, Cap Av

**Vigilância Marítima Contínua da Amazônia Azul com Radar de Abertura Sintética em
Satélites**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Preparo da Força Aérea
Orientadora: Thais Lemgruber Americo, Cap Av

Rio de Janeiro

2025

HUGO TIMÓTEO DA SILVA, Cap Av

Vigilância Marítima Contínua da Amazônia Azul com Radar de Abertura Sintética em Satélites

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Escola
de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Presidente, Carlos Eduardo José da Silva, Ten Cel Esp Av R1- EAOAR

Thais Lemgruber Americo, Cap Av - EAOAR

Rio de Janeiro

2025

RESUMO

A proteção das águas jurisdicionais brasileiras é essencial para o exercício da soberania nacional, especialmente no caso da Amazônia Azul, região de alta relevância estratégica devido à sua riqueza de recursos naturais, minerais e econômicos. Contudo, a vigilância dessa área apresenta restrições operacionais, sobretudo em função das situações impostas às missões aéreas por fatores como condições meteorológicas adversas e os desafios do patrulhamento noturno. Por isso, este ensaio defende que o uso de imagens SAR de satélites ajuda a superar restrições operacionais no patrulhamento da Amazônia Azul. Por operarem de forma autônoma em relação à infraestrutura terrestre e por não dependerem de condições climáticas favoráveis, os sensores SAR em satélites permitem à Força Aérea Brasileira manter a continuidade na vigilância da Amazônia Azul mesmo diante de chuvas, nebulosidade ou neblina, fenômenos frequentes na região. Ademais, ao viabilizarem o monitoramento à noite sem a necessidade de exposição de pessoal a riscos inerentes ao patrulhamento noturno, os SAR orbitais contribuem para ampliar a segurança e a continuidade das operações de monitoramento marítimo. Assim, pôde-se concluir que a proposta constitui uma alternativa tecnicamente viável, operacionalmente consistente e de fácil implementação. Além de complementar as capacidades atuais, alinha-se aos princípios da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira, ao fortalecer a Patrulha Marítima, uma Ação de Força Aérea. O uso de imagens SAR orbitais mostra-se um recurso fundamental para ampliar a efetividade da atuação aérea, com benefícios estratégicos à soberania nacional.

Palavras-chave: Amazônia azul; radar de abertura sintética; sensoriamento remoto; patrulha marítima.

1 INTRODUÇÃO

A soberania nacional, poder exclusivo e independente de um país sobre seu território, está diretamente relacionada ao controle e proteção de suas águas territoriais (Pereira, 2019). Assim, o monitoramento marítimo é altamente relevante para a Força Aérea Brasileira (FAB), por estar alinhado às atribuições institucionais da Força. Conforme estabelece a Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira (DCA 1-1), a Patrulha Marítima é uma das Ações de Força Aérea, responsável por apoiar a vigilância e o policiamento das águas jurisdicionais brasileiras.

Além disso, com base no preconizado na DCA 1-1, o Brasil investiu em soluções espaciais como instrumento estratégico. O Programa Espacial Brasileiro (PEB) foi criado a fim de impulsionar o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias espaciais para enfrentar desafios nacionais, com benefícios concretos à sociedade. Nesse contexto, uma das ferramentas empregadas é o Programa Estratégico de Sistemas Espaciais (PESE), que visa implantar infraestrutura espacial voltada à Estratégia Nacional de Defesa (Brasil, 2020).

Segundo o Livro Branco de Defesa Nacional, o PESE contempla sistemas estratégicos essenciais para o país, entre eles o Sistema de Gerenciamento da Amazônia Azul (SisGAAz), voltado ao controle dessa região (Brasil, 2020). A Amazônia Azul é uma extensa faixa marítima sob jurisdição brasileira, com mais de 4,5 milhões de quilômetros quadrados (Wiesebron, 2017). Sua relevância estratégica decorre da grande abundância de recursos naturais, minerais e econômicos, reforçando a necessidade de tecnologias que assegurem sua vigilância efetiva.

Diante desse cenário, diversas ferramentas têm sido empregadas para aprimorar o monitoramento da Amazônia Azul, como o uso de radares de abertura sintética (SAR). As imagens geradas por esses sensores vêm sendo utilizadas há mais de 30 anos em missões de sensoriamento remoto, incluindo a vigilância de áreas oceânicas, e ainda são consideradas estado da arte (Moreira *et al.*, 2013). Isso se deve às vantagens desses sensores, como a baixa suscetibilidade às condições meteorológicas e a coleta de dados que independe da luz do sol.

No entanto, o uso dessa tecnologia na atual missão de patrulhamento marítimo ainda apresenta oportunidades de aprimoramento, uma vez que as operações aéreas continuam condicionadas à variabilidade meteorológica. Embora plataformas robustas e tripulações treinadas mitiguem parte desses efeitos, fatores ambientais adversos, frequentes na Amazônia Azul, podem ocasionar o fechamento de aeroportos, a postergação de decolagens ou a interrupção temporária das missões, comprometendo sua regularidade. Além disso, as missões noturnas impõem riscos operacionais à tripulação e exigem atenção redobrada em ambientes de baixa visibilidade, reduzindo a segurança e comprometendo a continuidade das operações.

Nesse contexto, este ensaio defende que o uso de imagens SAR de satélites, já disponíveis e acessíveis atualmente para a FAB, porém originalmente aplicadas a outras finalidades, ajuda a superar restrições operacionais no patrulhamento da Amazônia Azul.

Por operarem de forma autônoma em relação à infraestrutura terrestre e por não dependerem de condições climáticas favoráveis, os sensores SAR em satélites permitem à Força Aérea Brasileira manter a continuidade na vigilância da Amazônia Azul mesmo diante de chuvas, nebulosidade ou neblina, fenômenos frequentes na região. Além disso, ao viabilizarem o monitoramento à noite sem a necessidade de exposição de pessoal a riscos inerentes ao patrulhamento noturno, os SAR orbitais contribuem para ampliar a segurança e a continuidade das operações de monitoramento marítimo.

2 DESENVOLVIMENTO

Atualmente, o monitoramento da Amazônia Azul pela Força Aérea é realizado por meio das aeronaves P-95 e P-3AM, equipadas com sensores SAR operando na banda X. Embora essas plataformas sejam capazes de voar em condições climáticas adversas e à noite, a operação aérea como um todo permanece sujeita a restrições, como o fechamento de aeródromos, atrasos por meteorologia desfavorável e o aumento do risco em voos noturnos, agravado por fatores fisiológicos que afetam a segurança da tripulação. Nesse contexto, a possibilidade de adquirir imagens SAR por satélites, como vigilância complementar, representa uma vantagem operacional relevante. Com base nisso, os argumentos desenvolvidos a seguir buscam sustentar o aproveitamento de recursos que ampliem a capacidade de observação contínua da área, fortalecendo a presença nacional nesse espaço estratégico, inibindo práticas ilícitas e reforçando a autoridade do Estado sobre o mar sob sua responsabilidade.

2.1 MONITORAMENTO MARÍTIMO EM CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS ADVERSAS COM IMAGENS SAR DE SATÉLITES

Uma das principais características do radar SAR que contribui para seu bom desempenho em condições meteorológicas adversas é a faixa de frequência em que opera. Esses sensores utilizam principalmente bandas da região de micro-ondas, como L, S, C e X, cujos comprimentos de onda mais longos favorecem a penetração atmosférica (Moreira *et al.*, 2013). Nessas faixas, a absorção e o espalhamento da radiação por nuvens, neblina e chuva leve são praticamente desprezíveis, diferentemente do que ocorre em frequências mais altas, onde esses

efeitos se tornam relevantes (Stimson, 1998). Por essa razão, essas bandas são amplamente empregadas em aplicações operacionais de sensoriamento remoto, como o monitoramento de oceanos, calotas polares e áreas agrícolas, justamente por sua menor suscetibilidade à interferência atmosférica (Moreira *et al.*, 2013). Além disso, no contexto do tema abordado neste trabalho, Serna *et al.* (2016) destacam que a tecnologia SAR embarcada em satélites é altamente eficaz para vigilância marítima, pois permite a detecção de alvos no mar, como navios, com alta resolução, independentemente da presença de nuvens.

Todas essas características são particularmente relevantes ao se considerar as condições da região de interesse deste ensaio. A Amazônia Azul abrange uma vasta área do oceano Atlântico Sul sob jurisdição brasileira, localizada predominantemente na zona tropical. Segundo a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (2023), esse posicionamento geográfico expõe a região a condições climáticas típicas dessa faixa latitudinal, como alta umidade, temperaturas elevadas e ocorrência frequente de formações climáticas intensas. A organização americana ainda afirma que sistemas meteorológicos tropicais são caracterizados por instabilidade atmosférica e pela formação contínua de nuvens densas, o que reduz significativamente a visibilidade.

Nesse cenário, as operações de patrulhamento aéreo atualmente conduzidas pela Força Aérea Brasileira permanecem suscetíveis a essas condições ambientais da região, especialmente em períodos de chuvas intensas, nebulosidade ou visibilidade reduzida, limitando o aproveitamento das capacidades que tornam o SAR tão vantajoso para o monitoramento da Amazônia Azul. Essas condições podem ocasionar o fechamento de aeroportos, atrasos em decolagens ou até a suspensão temporária das missões, impactando o planejamento e a previsibilidade das ações e, conseqüentemente, comprometendo a regularidade e a continuidade da vigilância. Trata-se de uma restrição operacional que não decorre da capacidade técnica da Força ou das características da plataforma, mas das restrições impostas pelo ambiente tropical à aviação como um todo.

Diante disso, a adoção de soluções complementares, como o uso de imagens SAR obtidas por satélites, surge como alternativa viável para reduzir essas restrições e assegurar a continuidade do monitoramento mesmo em cenários meteorológicos adversos. É muito importante ressaltar que os meios tecnológicos propostos para ampliar as capacidades atualmente disponíveis já existem, e seu acesso é tecnicamente viável. Um exemplo relevante é o projeto Lessonia-1, desenvolvido pela Força Aérea Brasileira, que contempla uma constelação de microssatélites equipados com sensores SAR operando na banda X. Esses satélites são capazes de captar imagens em diferentes modos e resoluções, independentemente

das condições atmosféricas, sendo ideais para aplicações de patrulhamento das águas territoriais e resposta a desastres naturais, por exemplo. O planejamento das missões e o processamento das imagens adquiridas são realizados pelo Centro de Operações Espaciais (COPE), garantindo a geração de dados geoespaciais atualizados para uso estratégico e operacional (Costa; Rocha; Gotelip, 2024). Por esse motivo, sua operação pode ser integrada a sistemas já utilizados pela Força Aérea, ampliando a capacidade de análise e correlação de dados com outras fontes de inteligência.

Dessa forma, com base na discussão desenvolvida, fica evidente que o uso de imagens SAR de satélites ajuda a superar restrições operacionais no patrulhamento da Amazônia Azul, ao passo que permite à Força Aérea Brasileira ampliar a cobertura de vigilância da região ao garantir o monitoramento contínuo mesmo sob condições meteorológicas adversas. Isso ocorre porque, por operarem de forma autônoma em relação à infraestrutura terrestre e por não dependerem de condições climáticas favoráveis, os sensores SAR em satélites permitem à Força Aérea Brasileira manter a continuidade na vigilância da Amazônia Azul mesmo diante de chuvas, nebulosidade ou neblina, fenômenos frequentes na região.

2.2 MONITORAMENTO MARÍTIMO NO PERÍODO NOTURNO COM IMAGENS SAR DE SATÉLITES

Estudos conduzidos por De Mello *et al.* (2008) demonstram que o risco de erros operacionais cometidos por pilotos aumenta em quase 50% durante a madrugada, em comparação com o período da manhã. Essa elevação está diretamente associada à redução da atenção e ao aumento da fadiga, efeitos típicos da atuação em horários que contrariam o ritmo circadiano e comprometem funções fisiológicas e cognitivas. Essa evidência aponta para uma vulnerabilidade relevante nas operações realizadas durante a noite, especialmente em contextos que demandam vigilância contínua, justificando a menor frequência de patrulhas aéreas nesse período.

Ainda assim, mesmo diante das restrições naturais impostas pela atuação em horários biologicamente adversos, o período noturno não pode ser negligenciado do ponto de vista da vigilância. Isso porque a ausência de iluminação cria condições propícias para ações ilícitas. Segundo Domínguez e Asahi (2017), as atividades ilícitas não dependem unicamente da motivação do agente infrator, mas também do contexto que favorece a ação criminosa, entre elas, a ausência de iluminação se destaca como um fator crítico. A literatura em criminologia situacional, como destacam os autores, sustenta que a escuridão reduz a probabilidade de

identificação e captura, aumentando a percepção de impunidade e, portanto, incentivando o comportamento ilegal. Considerando o ambiente marítimo, no qual a única fonte de iluminação é a luz solar, torna-se evidente que a escuridão noturna oferece condições propícias para ações ilegais, como navegação furtiva, pesca predatória ou transporte não autorizado, justamente pela redução da visibilidade e a menor frequência de monitoramento nesse período.

Nesse contexto, a tecnologia radar de abertura sintética apresenta vantagens operacionais particularmente relevantes para o monitoramento noturno. Conforme destacado por Fahey *et al.* (2020), o SAR é classificado como um sensor ativo. Essa propriedade o diferencia dos sensores passivos por não depender de fontes externas de energia para adquirir informações da superfície. O autor explica que sensores ativos emitem seus próprios pulsos eletromagnéticos e registram os sinais refletidos pelos alvos, o que permite a geração de imagens mesmo na ausência de iluminação solar. Essa autonomia operacional confere ao SAR uma capacidade singular de vigilância contínua, especialmente útil em ambientes e horários em que a visibilidade está comprometida.

Contudo, considerando a necessidade de atuação prolongada de tripulações durante a madrugada, empregar o SAR em operações aéreas noturnas esbarra nas restrições fisiológicas apresentadas anteriormente. Por isso, a utilização de sensores SAR embarcados em satélites torna-se uma alternativa tecnológica eficaz, atuando de forma complementar aos meios empregados atualmente. Por não depender da presença humana durante a coleta de dados, esses sistemas viabilizam o monitoramento noturno sem comprometer a segurança das operações, assegurando a continuidade da vigilância mesmo nesse período. É importante ressaltar que, além de representar uma alternativa estratégica para o patrulhamento e a vigilância de áreas marítimas, trata-se de uma solução viável e acessível. Adicionalmente à constelação Lessonia, mencionada anteriormente como um ativo nacional em desenvolvimento, destaca-se a missão Sentinel-1, da Agência Espacial Europeia, que disponibiliza gratuitamente imagens SAR de alta resolução, ampla cobertura e fácil acesso.

Dessa forma, com base na discussão desenvolvida, confirma-se que o uso de imagens SAR de satélites ajuda a superar restrições operacionais no patrulhamento da Amazônia Azul. Esse ganho ocorre porque permite à Força Aérea Brasileira manter a vigilância durante a noite sem comprometer a segurança da operação. Isso se deve ao fato de que, ao viabilizarem o monitoramento à noite sem a necessidade de exposição de pessoal a riscos inerentes ao patrulhamento noturno, os SAR orbitais contribuem para ampliar a segurança e a continuidade das operações de monitoramento marítimo.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conceito de soberania nacional envolve a capacidade do Estado de monitorar e proteger suas águas jurisdicionais. Considerando a relevância estratégica da Amazônia Azul, caracterizada por sua vasta extensão e abundância de recursos naturais, este ensaio defendeu que o uso de imagens SAR de satélites, já disponíveis e acessíveis atualmente para a FAB, porém originalmente aplicadas a outras finalidades, ajuda a superar restrições operacionais no patrulhamento dessa região.

O primeiro argumento tratou das dificuldades impostas por condições meteorológicas adversas às operações de patrulha. Por estar em zona tropical, a Amazônia Azul apresenta alta incidência de formações climáticas intensas ao longo do ano. Embora radares SAR operem em bandas de micro-ondas menos suscetíveis à interferência atmosférica, as operações aéreas são comprometidas nessas situações. Já os SAR em satélites, por operarem de forma autônoma em relação à infraestrutura terrestre e por não dependerem de condições climáticas favoráveis, permitem à Força Aérea Brasileira manter a continuidade na vigilância da Amazônia Azul mesmo diante de chuvas, nebulosidade ou neblina, fenômenos frequentes na região.

O segundo argumento tratou dos riscos intrínsecos ao patrulhamento marítimo em operações noturnas. Embora aeronaves com radar SAR possam operar à noite, esse período impõe desafios significativos às tripulações. Fatores como a fadiga e a redução da atenção, que aumentam no período noturno, comprometem a segurança das missões aéreas. Em contraste, ao viabilizarem o monitoramento à noite sem a necessidade de exposição de pessoal a esses riscos inerentes ao patrulhamento noturno, os SAR orbitais contribuem para ampliar a segurança e a continuidade das operações de monitoramento marítimo.

Portanto, com base nessas análises, é possível concluir que o emprego de imagens de radares SAR embarcados em satélites para patrulhamento marítimo assegura maior continuidade na vigilância da Amazônia Azul. Trata-se, então, de uma solução que complementa os meios já existentes e contribui para a superação de lacunas operacionais, sobretudo em cenários críticos nos quais os vetores atuais enfrentam limitações.

Por fim, pôde-se verificar que a tese defendida neste ensaio dialoga com os princípios da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira. Ao ampliar a efetividade da Patrulha Marítima, uma das Ações de Força Aérea, a proposta contribui de forma essencial para o cumprimento das atribuições institucionais da FAB no apoio à vigilância e ao policiamento das águas jurisdicionais brasileiras. Trata-se de um recurso fundamental para ampliar a permanência e a autonomia da atuação aérea, que traz benefícios estratégicos em prol da soberania nacional.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Defesa. **Livro Branco de Defesa Nacional**, Brasília, DF, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e-defesa/livro_branco_congresso_nacional.pdf. Acesso em: 17 mar. 2025.
- COSTA, F. A. L.; ROCHA, F. H. F.; GOTELIP, M. R. Lessonia-1 SAR Project for Improving the Disaster Management in Brazil. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Belém, v. XLVIII-3/W3-2024, p. 21–26, 02 nov. 2024. Disponível em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-3-W3-2024/21/2024/isprs-archives-XLVIII-3-W3-2024-21-2024.html>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- DE MELLO, M. T. *et al.* Relationship between Brazilian airline pilot errors and time of day. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v. 41, n. 12, p. 1129–1131, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjmr/a/WDGKL8sBPrm8rLjQpYnmdZN/>. Acesso em: 12 abr. 2025.
- DOMÍNGUEZ, P.; ASAH, K. Crime Time: How Ambient Light Affect Criminal Activity. **Social Science Research Network (SSRN)**, [s.l.], 28 mar. 2017. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2752629. Acesso em: 12 abr. 2025.
- FAHEY, T. *et al.* Active and Passive Electro-Optical Sensors for Health Assessment in Food Crops. **Sensors**, [s.l.], v. 21, n. 1, p. 171, 29 dez. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/1/171>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- MOREIRA, A. *et al.* A tutorial on synthetic aperture radar. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 6–43, 18 abr. 2013. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6504845>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **Tropical Weather Systems: Introduction to Tropical Weather**. [S.l.], 26 jul. 2023. Disponível em: <https://www.noaa.gov/jetstream/tropical>. Acesso em: 12 abr. 2025.
- PEREIRA, R. O que é Amazônia Azul e por que o Brasil quer se tornar potência militar no Atlântico. **Economia Azul**, [s.l.], 01 nov. 2019. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/economia-azul/noticias/o-que-e-amazonia-azul-e-por-que-o-brasil-quer-se-tornar-potencia-militar-no-atlantico>. Acesso em: 17 mar. 2025.
- SERNA, C. S. *et al.* **Sentinel-1 Maritime Surveillance: Testing and Experiences with Long-term Monitoring**. Luxemburgo, 10 fev. 2016. Disponível em: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC98532>. Acesso em: 18 mar. 2025.
- STIMSON, G. **Introduction to Airborne Radar**. Mendham: SciTech Publishing, 1998. Disponível em: <https://archive.org/details/introduction-to-airborne-radar/page/328/mode/2up>. Acesso em: 16 mar. 2025.
- WIESEBRON, M. L. O novo espaço brasileiro: Amazônia Azul e suas implicações. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, [s.l.], v. 19, n. 2, p. 379–396, 2017. Disponível

em: <https://www.scielo.br/j/rbeur/a/yBGzpbYGpX4fTGghW33w8dS>. Acesso em: 18 mar. 2025.