



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

RENAN MIRANDA RICHTER, Cap Av

**A RELEVÂNCIA DA ANÁLISE DOS PERFIS DINÂMICOS DE RCS DAS
AERONAVES DE CAÇA EM MISSÕES DE ATAQUE A ÁREAS CONTROLADAS
POR RADAR**

Rio de Janeiro
2021

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

RENAN MIRANDA **RICHTER**, Cap Av

**A RELEVÂNCIA DA ANÁLISE DOS PERFIS DINÂMICOS DE RCS DAS
AERONAVES DE CAÇA EM MISSÕES DE ATAQUE A ÁREAS CONTROLADAS
POR RADAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação em Gestão Pública com ênfase em Projetos e Processos.

Área de Concentração: Doutrina de Emprego
Orientador: Maj Av Antonio Pereira Damasceno Neto

Rio de Janeiro
2021

RENAN MIRANDA **RICHTER**, Cap Av

**A RELEVÂNCIA DA ANÁLISE DOS PERFIS DINÂMICOS DE RCS DAS
AERONAVES DE CAÇA EM MISSÕES DE ATAQUE A ÁREAS CONTROLADAS
POR RADAR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado no Curso de Aperfeiçoamento
de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Wellington Azevedo dos Santos – Maj Inf
EAOAR

Antonio Pereira **Damasceno** Neto – Maj Av
EAOAR

Rio de Janeiro
2021

RESUMO

A análise de RCS de aeronaves de caça em um contexto dinâmico é de vital importância para a FAB. A história recente dos conflitos, bem como o *modus operandi* da indústria de defesa mundial, revela que o incremento da capacidade furtiva das aeronaves se tornou um pilar a ser perseguido tanto pelos requisitos de projetos quanto pela doutrina das Forças Aéreas. O presente ensaio defende que os Comandos de Preparo e Emprego devem analisar individualmente os perfis de RCS dinâmicos das aeronaves de caça candidatas a realizar ataques em áreas controladas por radares. Primeiramente, argumenta-se que as aeronaves de caça apresentam perfis de reflexão dinâmicos das ondas eletromagnéticas incidentes em suas estruturas, que alteram as distâncias de detecção de radares, fornecendo meios para uma melhor gerência do piloto quanto a perfis de voo e menor exposição ao risco. Em segunda instância, aponta-se que as táticas de incursão a terrenos sitiados por radar podem ser incrementadas, aumentando o fator surpresa em missões. Alfim, reforça-se que a análise de RCS de aeronaves de caça em um contexto dinâmico contribui para a construção de um banco de dados de informações que culmina no incremento da capacidade de planejamento e emprego dos vetores. Esta iniciativa aperfeiçoará a doutrina de combate da Aviação de Caça e fará com que a FAB potencialize sua capacidade operacional.

Palavras-chave: Guerra Eletrônica. Radar. Aviação de Caça. *Radar Cross Section*.

1 INTRODUÇÃO

A disciplina “Sobrevivência em Combate de Aeronaves”, de vertente norte-americana, sofreu mudanças abruptas em seu *modus operandi* desde a Segunda Guerra Mundial até os dias atuais (BALL, 2003, tradução nossa). Concebida inicialmente sob a égide das potencialidades advindas da propulsão a jato e ao emprego de numerosos pacotes, ela foi obrigada a conviver com numerosas perdas impostas pelo surgimento de equipamentos dotados de alta tecnologia, tais como o radar. O emprego do princípio da massa passou a gerar grandes taxas de perdas humanas em combate e teve sua crise revelada na Guerra do Vietnã, em que a opinião pública americana foi preponderante e impôs uma reformulação na condução do caráter de preservação da integridade dos combatentes norte-americanos (BALL, 2003, tradução nossa). A sobrevivência no combate, a partir de então, não dependia mais de números, mas sim, da capacidade de empregá-los de forma assertiva.

Anos depois, a Guerra do Golfo trouxe à baila um novo marco estratégico: a tecnologia *stealth* e suas potencialidades para o incremento da capacidade de sobrevivência de vetores. A operação “Tempestade no Deserto”, um dos episódios mais célebres deste conflito, mostrou ao mundo o poder dos caças F-117 *Nighthawk*. Por conta do emprego de suas características furtivas, sobretudo pela redução de suas RCS, tais aeronaves cumpriram mais de 1.800 missões contra alvos de interesse em território inimigo, sem baixas (BALL, 2003, tradução nossa). A partir deste marco de sucesso, o pilar doutrinário “Sobrevivência em Combate de Aeronaves” passou a definir os requisitos operacionais dos mais variados projetos de defesa mundiais, com especial destaque aos caças de 5ª geração, tais como o F-35 *Lightning* e o F-22 *Raptor*, dois dos maiores focos de produção dos Estados Unidos da América e reconhecidamente vetores de alta capacidade furtiva.

Nesse contexto, o presente ensaio visa demonstrar que os Comandos de Preparo e Emprego devem analisar individualmente os perfis de RCS dinâmicos das aeronaves de caça candidatas a realizar ataques em áreas controladas por radares.

Para fundamentar essa tese, serão abordados dois argumentos principais. O primeiro retrata que as aeronaves de caça apresentam perfis de reflexão dinâmicos das ondas eletromagnéticas incidentes em suas estruturas, que alteram as distâncias de detecção de radares, fornecendo meios para uma melhor gerência do piloto quanto a perfis de voo e menor exposição ao risco. O segundo aponta que as táticas de incursão a terrenos sitiados por radar podem ser incrementadas desta forma, aumentando o fator surpresa em missões.

Sendo assim, após a leitura deste ensaio, será possível inferir que os Comandos de Preparo e Emprego, quando suscitados a planejar e cumprir missões de ataque ao solo ou interdição em áreas controladas por radares, deverão analisar individualmente os perfis de RCS dinâmicos das aeronaves de caça candidatas de forma a constituir um robusto e pormenorizado banco de dados. Com isso, eles garantirão as melhores opções de acordo com as ameaças vigentes no Teatro de Operações bem como contribuirão para o aperfeiçoamento da doutrina de combate da Aviação de Caça.

2 FUNDAMENTAÇÃO

2.1 A análise dinâmica de RCS como fator de redução ao risco

Os radares são equipamentos ofertados no setor de defesa com alcances de detecção definidos para RCS médias. É sabido que diversos fatores influenciam a detecção de alvos e um deles é como suas geometrias interagem com a radiação eletromagnética incidente, ou mais tecnicamente, sua *Radar Cross Section* (RCS) (KNOTT; SHAEFFER; TULEY, 1985, tradução nossa). Sabe-se ainda que este parâmetro é dinâmico, ou seja, é descrito por eventos que possuem determinadas probabilidades de ocorrência (LIU; LIANG; HU et al., 2017, tradução nossa). Dessa forma, o parâmetro RCS requer, para fins táticos e estratégicos, uma análise em contexto dinâmico, já que influencia diretamente o alcance máximo de detecção de radares.

A análise da RCS dinâmica pode ser realizada por testes de campo ou por *softwares* de simulação eletromagnética (LIU; LIANG; HU et al., 2017, tradução

nossa). No entanto, devido aos custos associados aos ensaios de campo, as simulações ganham dia a dia mais notoriedade à medida que os modelos estatísticos são aperfeiçoados. Swerling (1997) e posteriormente, Maio, Farina e Foglia (2004), em suas produções, exemplificam a tendência de aperfeiçoamento das funções matemáticas que descrevem a trajetória de alvos altamente flutuantes (tais como aeronaves de caça), com a proposição de modelos cada vez mais realísticos.

Saber gerenciar os melhores perfis de voo contra radares é fundamental para o êxito de uma missão. O tempo de exposição ao risco é minimizado se ao se planejar uma incursão, a qualquer tipo de área sitiada, quer seja no ar, em terra ou no mar, o incursor conhece os melhores perfis de voo a serem executados no cumprimento de uma missão (BALL, 2003, tradução nossa). Prova disso, foi a atuação dos caças AMX italianos na Guerra do Kosovo, que mesmo não pertencendo a uma geração de aeronaves *stealth*, conseguiram efetuar bombardeios a terrenos de intensa cobertura radar sem perdas em combate (LAMBETH, 2001, tradução nossa).

2.2 A análise dinâmica de RCS como fator de aperfeiçoamento das táticas

A análise dinâmica de RCS ainda se revela primordial ao permitir o incremento da tática disponível para incursão de aeronaves em terrenos controlados por radar. Sabendo-se as informações de inteligência acerca do radar oponente (tais como sua frequência, polarização, etc.), pode-se apostar em perfis ótimos de incursão ou até mesmo na combinação de vetores para sobrecarregar a linha de defesa aérea inimiga (NORSELL, 2003). Com isso, a probabilidade de sucesso da missão é maximizada.

Liu, Liang e Hu (2017), em seu estudo, avaliaram os efeitos da velocidade de uma aeronave na distribuição estatística de sua RCS dinâmica. Para isso, efetuaram simulações de uma aeronave voando, respectivamente a, 340 m/s, 408 m/s e 476 m/s (todas velocidades supersônicas), iluminada por um radar de frequência igual a 5,8 GHz e polarização horizontal. Eles concluíram que o modelo estatístico é afetado diretamente pela velocidade da aeronave.

Em um artigo de escopo direcionado à FAB, Gomes, Mansur e Sleutjes (2018) propuseram a análise de RCS da aeronave F-5 *Tiger* em um contexto dinâmico para investigação das diferenças entre a abordagem probabilística e a tradicional. Inicialmente, foi definida a cinemática do voo: um ataque a um radar na banda L (1 a 2 GHz) com três possibilidades de altitude, 500 ft, 5000 ft e 12000 ft.

A 500 ft, as RCS média e dinâmica praticamente foram equivalentes, resultando nos mesmos alcances de detecção. No entanto, a 5.000 ft e a 12.000 ft, as RCS média e dinâmica divergiram sensivelmente, sendo que a 12.000 ft a aeronave F-5 *Tiger* foi detectada a uma distância 50% menor que o alcance máximo teórico do radar.

Richter e Gomes (2020) expandiram o estudo e extrapolaram matematicamente a análise de incursão a um terreno sitiado pelo mesmo radar na banda L, só que desta vez de 100 a 20.000 ft, para a aeronave A-4 *Skyhawk*. Eles concluíram que a aeronave efetuando um ataque a 10.400 ft de altitude proporcionaria uma redução aproximada de 82% no alcance máximo teórico do radar.

Dessa forma, com vistas à análise da redução de alcance radar da ordem de 82% sob aspectos de mensuração de distância e tempo de reação, considera-se que a aeronave A-4 *Skyhawk* efetua ataques ao solo a 500 kt e que o alcance máximo teórico do radar que protege a área de interesse é de 32 NM (RICHTER e GOMES, 2020, tradução nossa). Assim, o radar analisado sob as circunstâncias de detecção dinâmica da aeronave A-4 *Skyhawk* passou a ter um alcance de apenas 6,4 NM o que corresponde, para a velocidade de 500 kt, a um tempo de reação de aproximadamente 40 segundos (190 segundos a menos do que se fosse considerado o alcance máximo teórico de 32 NM). Logo, radares que designam sistemas de armas, ou fazem parte de sistemas de defesa integrados, por exemplo, podem se tornar inefetivos no controle de determinados espaços aéreos. Desse modo, infere-se que a análise de RCS de aeronaves de caça em um contexto dinâmico é essencial para o planejamento de missões e para o aperfeiçoamento de táticas ofensivas.

Por fim, observa-se que a análise de RCS de aeronaves de caça em um contexto dinâmico é uma prática que não faz parte das rotinas dos grandes comandos

operacionais da FAB e conseqüentemente não gera dados para o aperfeiçoamento dos procedimentos empregados pelas Unidades Aéreas. Os métodos de planejamento e táticas de incursão em voga não consideram a abordagem ora apresentada. Faz-se mister que este tipo de iniciativa gere um banco de dados robusto, pormenorizado e que integre a doutrina da Aviação de Caça da FAB.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não restam dúvidas que os Comandos de Preparo e Emprego devem analisar individualmente os perfis de RCS dinâmicos das aeronaves de caça candidatas a realizar ataques em áreas controladas por radares.

As aeronaves de caça apresentam perfis de reflexão dinâmicos das ondas eletromagnéticas incidentes em suas estruturas, que alteram as distâncias de detecção de radares, fornecendo meios para uma melhor gerência do piloto quanto a perfis de voo e menor exposição ao risco. Saber gerenciar as cinemáticas de voo contra radares é fundamental para o êxito de uma missão. Exemplo disso, foi a campanha dos caças AMX italianos na Guerra do Kosovo, que apenas optando por determinados perfis de voo puderam cumprir suas missões sem danos.

Ademais, as táticas de incursão a terrenos sitiados por radar podem ser incrementadas pela análise dinâmica de RCS, aumentando o fator surpresa em missões. Os alcances de detecção dos radares variam substancialmente entre as abordagens média e dinâmica, chegando a 82% de redução nos experimentos apresentados, a depender da cinemática de voo adotada e do tipo de vetor empregado. Por essa razão, é imprescindível que os grandes comandos operacionais implementem ações de análise e pesquisa de suas aeronaves individualmente, nos mais variados cenários, diante das mais variadas ameaças.

Ao longo do presente ensaio, ficou evidenciado ainda que a análise de RCS de aeronaves de caça em um contexto dinâmico contribui para a construção de um banco de dados de informações que culmine no incremento da capacidade de planejamento e emprego dos vetores. Esta iniciativa aperfeiçoará a doutrina de

combate da Aviação de Caça e fará com que a FAB potencialize sua capacidade operacional.

REFERÊNCIAS

BALL, R. E. **The fundamentals of aircraft combat survivability analysis and design**. New York: AIAA, 2003.

GOMES, N. A. S.; MANSUR, T. S.; SLEUTJES, I. J. Estudo da probabilidade de detecção de sinais de radar em função da RCS dinâmica de uma aeronave de combate. *In*: 18º SBMO (SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICRO-ONDAS E OPTOELETRÔNICA) E 13º CBMAG (CONGRESSO BRASILEIRO DE ELETROMAGNETISMO), 2018. **Anais [...]**. Santa Rita do Sapucaí, 2018.

KNOTT, E. F.; SHAEFFER, J. F.; TULEY, M. T. **Radar cross section: its prediction, measurement and reduction**. Boston: Artech House, 1985.

LAMBERT, B. S. **NATOS's air war for Kosovo: a strategic and operational assessment**. Santa Monica: Rand, 2001.

LIU, Z. Q. *et al.* Influence on aircraft dynamic RCS statistical characteristics from flight speed. *In*: 2017 INTERNATIONAL APPLIED COMPUTATIONAL ELECTROMAGNETICS SOCIETY SYMPOSIUM (ACES), 2017, Suzhou. **Proceedings [...]**. Suzhou, 2017, pp. 1-2.

MAIO, A. D.; FARINA, A.; FOGLIA, G. Target fluctuation models and their application to radar performance prediction. *IEEE Proceedings - Radar, Sonar and Navigation*, vol. 151, no. 5, pp. 261–269, Oct 2004.

NORSELL, M. Radar cross section constraints in flight path optimization. *In*: 41st AEROSPACE SCIENCES MEETING AND EXHIBIT, 2003. **Proceedings [...]**. Reno, 2003.

RICHTER, R. M.; GOMES, N. A. S. A-4 Skyhawk aircraft stealth capacity against L-band radar based on dynamic target detection. *In*: IEEE RADAR CONFERENCE 2020. **Proceedings [...]**. Florence, 2020.

SWERLING, P. Radar probability of detection for some additional fluctuating target cases. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 33, no. 2, pp. 698–709, April 1997.