



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

**FÁBIO PINTO MACHADO, Cap Esp Com**

**A predição da seção reta radar para fins de detecção e reconhecimento não cooperativo**

Rio de Janeiro

2024

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 3º/2024

**FÁBIO PINTO MACHADO**, Cap Esp Com

**A predição da seção reta radar para fins de detecção e reconhecimento não cooperativo**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso 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: Emprego da Força Aérea

Orientador: Eduardo Mendes Marcondes, Maj Av

Rio de Janeiro

2024

**FÁBIO PINTO MACHADO, Cap Esp Com**

**A predição da seção reta radar para fins de detecção e reconhecimento não cooperativo**

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

Aprovado por:

---

Presidente, Márcio Henrique Teixeira de Souza, Ten Cel Av - EAOAR

---

Eduardo Mendes Marcondes, Maj Av - EAOAR

Rio de Janeiro

2024

## RESUMO

A recente incorporação das aeronaves F-39 Gripen à Força Aérea Brasileira representa não só a aquisição de uma aeronave, como também o ingresso de novas tecnologias e doutrinas que deverão ser desenvolvidas e aperfeiçoadas a fim de explorar ao máximo as potencialidades desse projeto. Para a aplicação em missões de defesa aérea, a interceptação será executada com maior eficiência se houver o conhecimento prévio da seção reta radar de possíveis alvos. Nesse contexto, este ensaio defende que a produção de um banco de dados com a seção reta radar de alvos de interesse, elevará a possibilidade de sucesso dos pilotos das aeronaves F-39 Gripen em missões de defesa aérea. Para tanto, argumenta-se que a produção de um banco de dados permitirá ao piloto o uso de grupos de frequências que aumentarão o alcance de detecção radar. Também argumenta-se que o banco de dados possibilitará o reconhecimento de alvos de interesse, fornecendo ao piloto uma informação adicional para a tomada de decisão. Por fim, esse processo poderá ser aplicado em outros radares da Força Aérea, Exército ou Marinha, gerando avanços tecnológicos na área de defesa e motivando o desenvolvimento de doutrinas operacionais que elevam a capacidade de emprego e consequentemente o poder dissuasório do Brasil perante as demais nações.

**Palavras-chave:** detecção radar; seção reta radar; reconhecimento; predição.

## 1 INTRODUÇÃO

A Força Aérea Brasileira transformou-se profundamente nos últimos anos após a aquisição de aeronaves, incorporação de tecnologias e implantação de sistemas que modificaram a forma de entender e aplicar o Poder Aeroespacial. Um exemplo dessa transformação profunda é a recente entrada em operação das aeronaves F-39 Gripen adquiridas da empresa SAAB da Suécia.

O potencial dissuasório possibilitado pela aeronave Gripen, através do uso de armamentos modernos e suítes de guerra eletrônica avançadas, atende ao que preconiza a Diretriz de Comando da Aeronáutica (DCA) 11-45 (2018), que trata sobre a concepção estratégica da Força Aérea a ser atingida até o ano de 2041 e que possui como visão de futuro, o objetivo de ser uma Força Aérea com grande capacidade dissuasória e operacionalmente moderna.

Entretanto, não basta possuir meios de elevado potencial tecnológico. Para aplicar plenamente todas as capacidades possíveis deve-se possuir também o conhecimento das características do inimigo. De acordo com a DCA 1-1 (2020), que trata sobre a Doutrina Básica da Força Aérea, esse conhecimento é de grande importância, constituindo-se em uma tarefa que deve ser iniciada ainda em tempo de paz.

As ações de detecção e identificação em longas distâncias, por exemplo, muitas vezes além do alcance visual do piloto, resultarão em maior eficiência se houver o conhecimento prévio das características de possíveis alvos a partir da comparação com um banco de dados. Assim, com o incremento da capacidade de detecção e reconhecimento os pilotos possuirão uma maior consciência situacional durante missões de defesa aérea.

Nesse contexto, este ensaio defende que a produção de um banco de dados com a seção reta radar de alvos de interesse, elevará a possibilidade de sucesso dos pilotos das aeronaves F-39 Gripen em missões de defesa aérea, sendo utilizados dois argumentos para sustentar essa afirmação.

No primeiro, argumenta-se que a produção de um banco de dados permitirá ao piloto o uso de grupos de frequências que aumentarão o alcance de detecção radar durante missões de defesa aérea.

Em complemento, argumenta-se que o banco de dados possibilitará o reconhecimento de alvos de interesse, fornecendo ao piloto uma informação adicional para a tomada de decisão.

## 2 A IMPORTÂNCIA DA PREDIÇÃO DA SEÇÃO RETA RADAR PARA ALVOS DE INTERESSE

Em missões de defesa aérea, radares aeroembarcados possuem a capacidade de emissão do sinal em frequências de valores distintos. O uso de diferentes frequências é considerado como uma medida de proteção eletrônica que visa dificultar o processo de interferência (*Jamming*), que poderá ser executado por uma aeronave hostil após a interceptação do sinal transmitido pelo radar. Conforme descrito por Stimson (1998), essa técnica, denominada de agilidade em frequência, é a mais usual para prevenção a uma possível interferência.

Em complemento à prevenção ao *jamming*, o uso de diferentes frequências de transmissão impacta diretamente no valor da seção reta radar, conhecida como RCS (*Radar Cross Section*), que será obtida do alvo (Skolnik, 1990), permitindo assim explorar outras capacidades desse equipamento. Através da confecção de um banco de dados de RCS é possível selecionar frequências de transmissão que maximizarão o alcance de detecção e também executar o reconhecimento de alvos através da comparação com dados já existentes.

### 2.1 USO DE FREQUÊNCIAS QUE MAXIMIZAM A RCS E AUMENTAM O ALCANCE DE DETECÇÃO

Quando interceptado por um sinal radar o alvo refletirá parte desse sinal em direções diversas. Segundo Skolnik (1990), a parcela do sinal que é refletida na direção da fonte emissora constitui-se na RCS desse alvo.

A equação utilizada para estimar o alcance de detecção radar (Equação radar) utiliza como uma das variáveis o valor da RCS do alvo, que é um fator dependente da frequência do sinal de emissão. Ou seja, alterando o valor da RCS ocorre diretamente variação no alcance de detecção (Skolnik, 1990).

A relação de dependência entre a frequência do sinal transmitido e a RCS observada é descrita por Mahafza (2000), ao sugerir a predição desses valores a partir de métodos aproximados de simulação que podem ser validados posteriormente em campanhas reais visando à montagem de um banco de dados para alvos de interesse.

A partir dos valores de RCS obtidos por predição realizada utilizando-se softwares de simulação existentes no mercado, é possível estimar para um determinado alvo o alcance de detecção correspondente a cada frequência existente no radar da aeronave F-39 Gripen. Uma

opção de software amplamente utilizado para os cálculos de RCS é o FEKO, da empresa Altair (Wang *et al.*, 2014).

De posse da informação da RCS de um alvo obtida por meio de simulação o piloto poderá utilizar uma frequência que fornecerá um alcance maior para o radar. Para exemplificar, a RCS pode ser aumentada ao nível de possibilitar uma maximização de aproximadamente 20% no alcance de detecção. Em termos operacionais, um radar que visualize um alvo a 30NM, por exemplo, passaria a detectar esse mesmo alvo a partir de 36 NM.

Dessa maneira, um piloto que utilize uma frequência ótima com base em um conhecimento prévio obtido por simulação, capaz de fornecer essa maximização no valor de RCS de um alvo, estará utilizando um radar com ganho operacional no alcance de detecção.

Ao detectar antecipadamente um alvo inimigo, o piloto possuirá mais tempo para utilizar um armamento ou adotar uma *Threat Reactions* (reação às ameaças), fatores esses importantes em combates BVR já que a coordenação deve ser eficaz e as ações empregadas devem ser rápidas devido ao dinamismo da situação (Navarro, 2019).

Nesse contexto, este ensaio defende que a produção de um banco de dados com a RCS de alvos de interesse, elevará a possibilidade de sucesso dos pilotos das aeronaves F-39 Gripen em missões de defesa aérea, visto que a produção do banco de dados permitirá ao piloto o uso de grupos de frequências que aumentarão o alcance de detecção radar.

## 2.2 RECONHECIMENTO DE ALVOS POR MEIO DE SINAIS RADAR

Outra aplicação capaz de ser implantada a partir do banco de dados é a possibilidade de reconhecimento de alvos utilizando o próprio radar da aeronave F-39 Gripen, a fim de fornecer ao piloto uma informação adicional antes da tomada de decisão durante a interceptação de um alvo (Cramer, 2020). Esse modo de operação radar é denominado de NCTR (*Noon Cooperative Target Recognition*).

Os tradicionais sistemas IFF (*Identification Friend or Foe*) são sistemas cooperativos que permitem confirmar se uma aeronave encontra-se na condição de aliada, mas não são capazes de confirmar a condição de neutralidade ou hostilidade dessa aeronave caso o equipamento IFF esteja inoperante ou desligado por motivos operacionais. Já o reconhecimento com o uso do modo NCTR do radar trata-se de um método não cooperativo, visto não necessitar de nenhuma interação com o possível alvo (Lucena *et al.*, 2011).

A incapacidade em se determinar a condição de hostilidade de aeronaves que não respondem ao sinal dos sistemas IFF resulta muitas vezes em atraso na tomada de decisão, ou até mesmo em ações equivocadas por parte do piloto. Diversos incidentes trágicos já ocorreram por conta do não reconhecimento de alvos que não responderam corretamente ao sistema IFF. Em 1983, por exemplo, um B-747 da *Korean Airlines*, voo KAL 007, foi abatido por um míssil soviético enquanto percorria a rota Alaska/Coréia do Sul, ao ser supostamente identificado como uma aeronave militar em voo na região. Em 1988, um A-300 da *Iranian Airlines* foi abatido indevidamente por dois mísseis disparados do *USS Vincennes*, que patrulhava o Golfo Pérsico (Tait, 2009).

No intuito de minimizar esse problema, o modo NCTR realiza uma comparação do sinal radar refletido no alvo com assinaturas presentes no banco de dados, obtidas através de simulação ou emprego em campanhas reais. O banco de dados pode ser confeccionado a partir da reflexão do sinal nas diversas superfícies do alvo, que será recebido no receptor radar com o nível de intensidade de acordo com a RCS correspondente. (Tait, 2009).

De forma prática, o piloto da aeronave F-39 Gripen que visualizar no display uma aeronave sem a devida resposta ao sistema IFF, poderá utilizar o sinal recebido por reflexão na aeronave não identificada para comparar com o banco de dados existente no radar. Caso exista similaridade entre a assinatura recebida e alguma existente no banco, o modo NCTR apresentará uma identificação possível do alvo, a fim de auxiliar o piloto no processo decisório.

Destarte, a criação do banco de dados a partir da análise da RCS do alvo segue processo semelhante ao sugerido anteriormente para escolha de frequências de transmissão que maximizem o alcance radar. Pode-se inclusive, utilizar o mesmo software sugerido anteriormente como forma de padronização de meios.

Nesse contexto, este ensaio defende que a produção de um banco de dados com a RCS de alvos de interesse elevará a possibilidade de sucesso dos pilotos da aeronave F-39 Gripen em missões de defesa aérea, visto que possibilitará o reconhecimento de alvos de interesse fornecendo ao piloto uma informação adicional para a tomada de decisão.

### **3 CONCLUSÃO**

A entrada em operação da aeronave F-39 Gripen na Força Aérea Brasileira pode ser considerada como um fator de elevado ganho operacional, face às capacidades de emprego possibilitadas por esse vetor aéreo.

Porém, aliado à aquisição de aeronaves e equipamentos modernos, a Força Aérea Brasileira deve investir em doutrinas e processos que possibilitem utilizar com eficiência todas essas capacidades adquiridas.

Dessa forma, este ensaio defendeu a tese de que a produção de um banco de dados com a RCS de alvos de interesse elevará a possibilidade de sucesso dos pilotos das aeronaves F-39 Gripen em missões de defesa aérea, utilizando para isso dois argumentos.

Como primeiro argumento, a produção de um banco de dados permitirá ao piloto o uso de grupos de frequências que aumentarão o alcance de detecção radar. A seleção de frequências ótimas permitirá ao piloto promover um ganho no alcance de detecção, já que maximizará a RCS do alvo.

Como segundo argumento, esse mesmo banco de dados possibilitará o reconhecimento de alvos de interesse, fornecendo ao piloto uma informação adicional para a tomada de decisão, na medida em que permite executar a ação de reconhecimento de alvos através do modo NCTR, sem a necessidade de uso dos sistemas tradicionais de identificação IFF.

Essa predição de valores de RCS de alvos de interesse com vistas a maximizar o alcance de detecção ou possibilitar o processo de reconhecimento pode ser realizada através de softwares de simulação existentes no mercado.

Por fim, esse mesmo processo poderá ser aplicado em outros radares da Força Aérea, Exército ou Marinha, gerando avanços tecnológicos na área de defesa e motivar o desenvolvimento de doutrinas operacionais que elevem a capacidade de emprego e consequentemente o poder dissuasório do Brasil perante as demais nações.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria Nº 1597/GC3, de 10 de outubro de 2018. Aprova a reedição da Diretriz do Comando da Aeronáutica, DCA 11-45, “Concepção Estratégica - Força Aérea 100”. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 180, f. 11265, 15 out. 2018. Disponível em: [http://www.cendoc.intraer/sisbca/bca\\_pdf/2018/bca\\_180\\_15-10-2018.pdf](http://www.cendoc.intraer/sisbca/bca_pdf/2018/bca_180_15-10-2018.pdf). Acesso em: 20 out. 2024.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria Nº 1225/GC3, de 10 de novembro de 2020. Aprova a reedição da Diretriz do Comando da Aeronáutica, DCA 1-1, Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 205, f. 14971, 12 nov. 2020. Disponível em: [http://www.cendoc.intraer/sisbca/bca\\_pdf/2020/bca\\_205\\_12-11-2020.pdf](http://www.cendoc.intraer/sisbca/bca_pdf/2020/bca_205_12-11-2020.pdf). Acesso em: 20 out. 2024.

CRAMER, A. **A Capacitação de Pilotos de F-39 Gripen**. 2020. Trabalho de conclusão de Curso (Curso de Altos Estudos Política e Estratégia) – Escola Superior de Guerra.

LUCENA, J. A.; SANCHEZ, M. I.; BOCANEGRA, S. D.; RECIO, F. R.; MARTINEZ, P. D. **Class Identification of Aircraft by Means of Artificial Neural Networks Trained With Simulated Radar Signatures**. Progress in Electromagnetics Research C. Vol. 21, p. 243-255, 2011. Disponível em: <https://www.inta.es/detectabilidad/en/publications/magazines/>. Acesso em: 15 out. 2024.

MAHAFZA, B. R. **Radar Systems Analysis and Design Using Matlab**. CRC Press, Boca Raton, London, New York, Washington D.C, 2000.

NAVARRO, P. E. A. **Treinamento de voos simulados em Cenário de Combate BVR e o Processo Decisório Naturalista**. 2019. Trabalho de conclusão de Curso (Curso de Altos Estudos Política e Estratégia) – Escola Superior de Guerra.

SKOLNIK, M. I. **Radar Handbook**, 2ª Ed. Mac Graw Hill, United States of America, 1990.

STIMSON, G. W. **Introduction to Airborne Radar**, 2ª Ed. SciTech Publishing, New Jersey, 1998.

TAIT, P. **Introduction to Radar Target Recognition**. The Institution of Engineering and Technology, London, 2009.

WANG, X.; WANG, C.; LIU, Y. **RCS Computation and Analysis of Target Using FEKO**. 3rd Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/apcap.2014.6992625>. Acesso em: 18 out. 2024.