

Relatório Final

Título do projeto de pesquisa: Redução de Seção Reta Radar de VANT com uso de material compósito carbono-polimérico

Bolsista: Richelmy Magi Sanches

Orientador(a): Emerson Sarmento Gonçalves; Luiz A. de Andrade.

Período a que se refere o relatório: Novembro de 2015 a julho de 2016

Resumo

A assinatura radar de uma aeronave caracteriza as propriedades de espalhamento de ondas eletromagnéticas incidentes sobre a mesma, refletindo o sinal de radar na direção do equipamento receptor. Com a utilização de recursos computacionais, disponíveis no Instituto de Aeronáutica e Espaço, uma projeção 3-D em escala real 1:1 da aeronave 750-SHARP foi realizada. O desenho foi elaborado no software CATIA V5-R20 e importado para o simulador de alta frequência Computer Simulation Technology (-CST). Inicialmente estudou-se a Seção Reta Radar (-RCS) da aeronave com base no conhecimento prévio das superfícies do Veículo Aéreo Não Tripulado, utilizando uma frequência de 10 GHz, com a interceptação de ondas incidentes ($\theta = 90^\circ$) formando ângulos de 90° com o eixo phi (azimutal) que possui variação $\phi = (0^\circ-360^\circ)$ com passo de um grau (1°). Para atender a necessidade de redução da assinatura radar, foram realizadas alterações geométricas nos pontos críticos da aeronave, e subsequentemente foi aplicado o material absorvedor de microondas formados à base de compósito fibra de carbono e polianilina que somados a alteração geométrica, apresentaram redução significativa na Seção Reta Radar da aeronave 750-SHARP, atendendo os objetivos iniciais.

1. Introdução

A finalidade de reduzir a Seção Reta Radar de uma aeronave remotamente pilotada, está diretamente associada com o raio de detecção dos radares hostis [1]. A Equação (1) fornece o modelo quantitativo do impacto da redução da RCS de um alvo a determinada distância.

$$R_{max} = \left(\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_{min} L} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

Onde: R_{max} é o raio máximo de detecção, P_t é a potência de transmissão, P_{min} é a potência mínima de detecção do radar, $G = G_r = G_t$ é o ganho do radar, λ é o comprimento da onda, L é as perdas do radar associada ao meio ambiente e componentes eletrônicos e σ é a RCS [2].

Analisando a Equação 1, percebe-se que todas as variáveis, exceto a RCS do objeto, são exclusivamente controladas pelos operadores dos radares, indicando a importância de metodologias para a redução dos valores matemáticos desta propriedade de espalhamento [3].

2. Materiais e métodos

As análises realizadas neste trabalho utilizaram soluções computacionais avançadas. Para facilitar a aquisição de dados, elegeram-se os softwares CATIA V5-R20 e Computer Simulation Technology (CST) 2012, responsáveis por desenhos 3-D e simulações de interações de microondas respectivamente [4], [5].

O estudo preliminar da redução da Seção Reta Radar da aeronave 750-SHARP, por alteração geométrica e aplicação de material absorvedor de microondas, foi realizado na frequência de 10GHz, com ângulos de aspecto variando de 0° a 360° com amplitude de 1° . Todas as simulações seguiram os mesmos requisitos técnicos, já que os radares militares atuam com maior eficiência na frequência citada anteriormente.

Com o objetivo de reduzir a Seção Reta Radar da aeronave 750-SHARP, foi inserido na biblioteca do software CST, as propriedades eletromagnéticas do compósito fibra de carbono-epóxi, após sofrer a eletrossíntese de polianilina (PAni) sobre sua superfície. Para este fim, utilizou-se 3 ciclos lentos (5 mVs^{-1}) de voltametria em anilina $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ de H_2SO_4 , seguidos de 25 ciclos (25 mVs^{-1}) em digitalização de $-0,50$ até $1,05 \text{ V}$ x Ag/AgCl, utilizando contra eletrodo de platina, seguindo os mesmos parâmetros citados anteriormente.

As características eletromagnéticas de permissividade elétrica (ϵ) e permissividade magnética (μ) foram utilizadas para simulações finais.

Para facilitar a aquisição de dados, foram utilizados dois cenários de simulação. No primeiro cenário, a aeronave 750-SHARP foi recoberta por Material Perfeitamente Condutor (PEC), tendo assim sua geometria variada para a otimização da RCS de sua superfície. O segundo cenário contou com a aplicação do compósito citado acima, recobrindo a superfície da aeronave 750-SHARP, após alteração geométrica.

3. Resultados e discussões

Após a definição dos parâmetros de trabalho e a realização das revisões literárias necessárias para a interpretação e discussão dos resultados, o projeto oficial da aeronave 750-SHARP foi sujeito ao software CST para simulações.

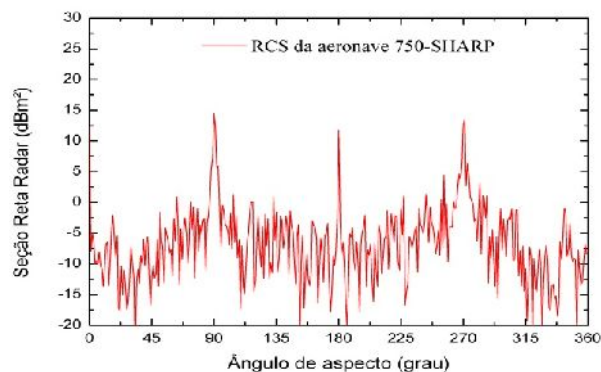


Figura 1. Seção Reta Radar da aeronave 750-SHARP.

Analisando a Figura 1, percebeu-se que a variação do ângulo de aspecto interfere significativamente nos resultados da RCS da aeronave. Essa mesma variação indicou as possíveis alterações a serem realizadas, ou seja, com o controle do ângulo de incidência da onda sobre a aeronave, foi possível identificar as geometrias detalhadas na simulação.

Decompondo os resultados em incrementos iguais a 1° , pôde-se analisar as áreas de maior RCS do Veículo Aéreo Não Tripulado. Os componentes estruturais da aeronave 750-SHARP

que apresentaram os maiores valores de espalhamento das ondas eletromagnéticas foram detectados nos ângulos 0° , 91° , 181° e 272° , conforme ilustra a Figura 2.



Figura 2. Componentes estruturais em função do ângulo de aspecto.

Analisando a Figura 2, foi possível identificar as geometrias que representam os pontos de maior RCS da aeronave 750-SHARP. Com isso, observou-se que as geometrias empregadas na aeronave nos ângulos de aspectos de maior espalhamento de radiação eletromagnética, apresentaram características negativas para o desempenho de assinatura radar [2], [6].

Baseado na simulação do modelo em escala real da aeronave 750-SHARP, foi desenvolvido o projeto de dois modelos distintos do bloco do motor. Os dois novos modelos nomeados bloco do motor cilíndrico 1 (BMC1) e bloco do motor parede de fogo 2 (BMPF2) buscam atender a fundamentação abordada em [2] e [6].

O bloco do motor BMC1 apresentou características e medidas idênticas às da aeronave oficial, porém a superfície externa do bloco deixou de ter propriedades planas e passou a apresentar características geométricas cilíndricas. O bloco do motor BMPF2 foi alterado em sua totalidade com o objetivo de reduzir lacunas, vácuos, diedros, além de reduzir a área lateral de interceptação à aeronave.

Devido à complexidade das geometrias que compõem uma aeronave, a análise individual se restringiu a fornecer apenas um valor comparativo entre variáveis similares, ou seja, as medidas individuais se comportam de maneira diferenciada quando agrupadas em um conjunto estrutural, devido aos ângulos formados, difrações, espalhamento em direções não controladas e diversificação geométrica [1].

Sendo assim, foi necessária a análise da alteração do bloco do motor, agrupada ao conjunto estrutural da aeronave 750-SHARP oficial. Com este parâmetro foi possível determinar qual bloco, oferece o melhor desempenho.

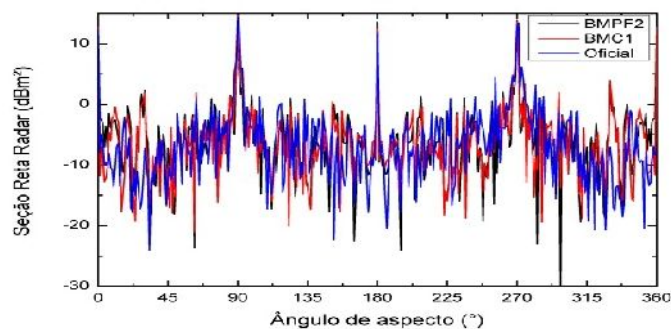


Figura 3. Seção Reta Radar da aeronave 750-SHARP em função da alteração geométrica.

A Figura 3 apresenta o comportamento ocasionado pela alteração do bloco do motor no conjunto estrutural da aeronave. Para facilitar a compreensão dos resultados e a interpretação dos valores, foram utilizados métodos estatísticos de desvio simples para identificar a taxa de variação entre os conjuntos modificados, quando comparados com a geometria oficial.

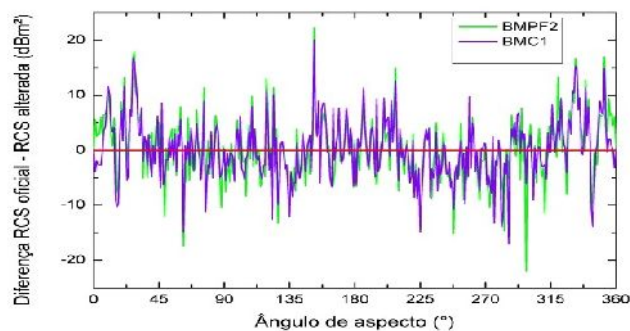


Figura 4. Comparação estatística da Seção Reta Radar da aeronave 750-SHARP.

Analisando a Figura 4, pôde-se comparar a Seção Reta Radar dos conjuntos que sofreram alterações ao conjunto oficial. Variando o ângulo de aspecto com passo igual a 1°, notou-se que o conjunto pertencente ao bloco BMPF2 apresentava 169 pontos de redução da RCS, enquanto o bloco BMC1, 179.

Para majorar o percentual de eficiência da redução da assinatura radar do Veículo Aéreo Não Tripulado 750-SHARP, foram realizadas as mesmas análises para uma possível alteração da fuselagem do conjunto estrutural.

Para esta simulação, foi projetada uma nova fuselagem de características cilíndricas, visando atender a metodologia abordada em [2] e [6]. Para facilitar a identificação, a nova fuselagem foi nomeada como (NFC1). O objetivo de projetar uma fuselagem cilíndrica foi reduzir o espalhamento de ondas devido à redução de áreas planas e facilitar o escoamento da radiação emitida pelo radar [2].

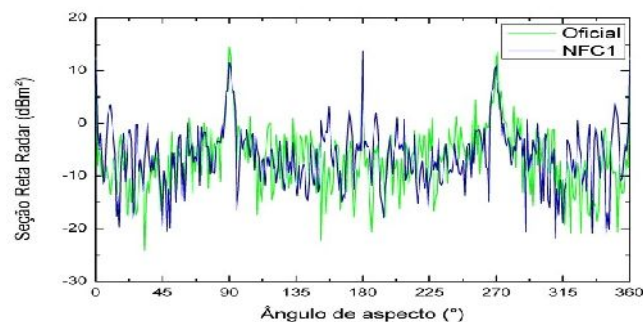


Figura 5. Seção Reta Radar da aeronave 750-SHARP em função da alteração geométrica.

Verificando a Figura 5, observou-se que a alteração de geometria da fuselagem tinha efeitos impactantes na RCS total da aeronave 750-SHARP. A fuselagem NFC1, de acordo com a Figura 5, proporcionou a redução da Seção Reta Radar nos pontos críticos de 90° e 270°, apresentando uma redução de até 7,2dBm² no ângulo de aspecto 272° e 2,92dBm² no ângulo equivalente de 91°.

Depois de realizadas as análises pertinentes ao bloco do motor e fuselagem do Veículo Aéreo Não Tripulado 750-SHARP, foi realizada a adição das duas variáveis em apenas um conjunto estrutural. Com esta apreciação foi possível identificar a interação entre geometrias semelhantes e o impacto que o novo conjunto ocasionaria na RCS da aeronave.

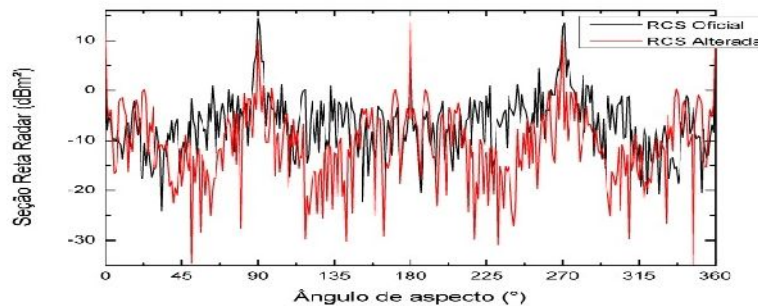


Figura 6. Comparativo da RCS alterada em função da geometria utilizada.

Analisando a Figura 6, percebeu-se que a interação entre as estruturas alteradas (BMC1 e NFC1) proporcionou a suavização da série correspondente a Seção Reta Radar da aeronave alterada, ou seja, seguindo as ferramentas abordadas na literatura ([2], e [6]), foi reduzida a RCS da aeronave 750-SHARP em 66,94% dos pontos de análise.

Com a geometria otimizada, foi aplicado material absorvedor de radiação eletromagnética na superfície do Veículo Aéreo Não tripulado. A Figura 7 apresenta a RCS total da aeronave analisada, com aplicação de material absorvedor na geometria da asa, comparada com a Seção Reta Radar da aeronave oficial.

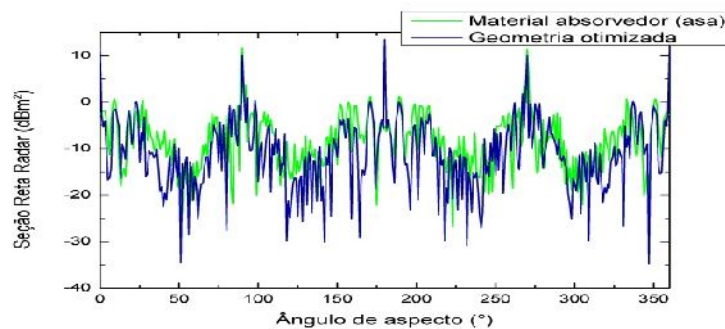


Figura 7. Seção Reta Radar da aeronave 750-SHARP em função da alteração do material.

Analisando a Figura 7, percebe-se que a aplicação do material absorvedor sobre a asa da aeronave 750-SHARP, não apresentou eficiência na redução da Seção Reta Radar. Observou-se que em 95% dos pontos de análise, a aplicação de material absorvedor, aumentou a RCS quando comparada com a geometria otimizada, utilizando material (PEC).

Após verificar a influência da geometria da asa no conjunto estrutural, as mesmas simulações foram executadas para a fuselagem, mantendo esta com material absorvedor e as demais geometrias como placa metálica (PEC). A Figura 8 apresenta o comparativo total da RCS do Veículo Aéreo Não Tripulado 750-SHARP, otimizada e com aplicação de material absorvedor na fuselagem.

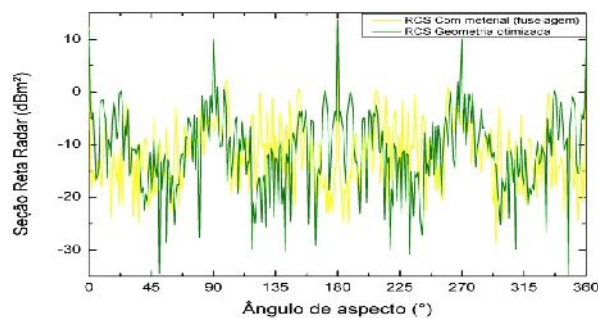


Figura 8. Seção Reta Radar da aeronave 750-SHARP em função da alteração do material.

Analisando a figura 8, percebeu-se que a aplicação do material absorvedor não surtiu efeito na redução da Seção Reta Radar da aeronave 750-SHARP otimizada, sugerindo a dependência geométrica entre fuselagem e asa [2].

Visando verificar a dependência geométrica entre asa e fuselagem, realizou-se uma ultima simulação com o material absorvedor de radiação eletromagnética presente na superfície de ambas as estruturas.

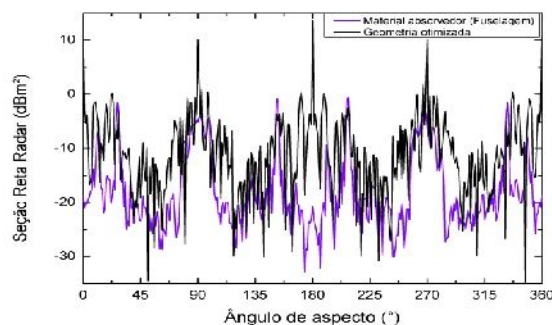


Figura 9. Seção Reta Radar da aeronave 750-SHARP em função da alteração do material.

Analisando a Figura 9, observou-se a redução de 83,61% dos pontos de análise, incluindo todos os pontos críticos. Verificando os resultados presentes na Figura 9, percebe-se que a fuselagem e a asa estão interligadas durante toda análise, ou seja, para obter maior eficiência é necessário trabalhar em conjunto com as duas geometrias [2].

Comparando as Figuras 8 e 9, percebe-se que para os mesmos ângulos de aspectos analisados, a aeronave com material aplicado sobre a superfície da fuselagem e asa, apresentou até 50% de redução da Seção Reta Radar durante as simulações.

4. Conclusões

A Seção Reta Radar de uma aeronave está diretamente associada a sua geometria estrutural. Sendo assim, a elaboração de um projeto aeronáutico em que o objetivo principal seja obter uma baixa assinatura radar, as chances de sucesso são maiores. Percebeu-se que mesmo com a redução da RCS em mais de 65% dos ângulos de aspectos, as alterações prejudicaram outros pontos da análise, ou seja, mesmo apresentando consideráveis resultados, o objetivo de projeto da aeronave impactou negativamente as implicações na simulação.

As simulações deixaram claro que as interações entre geometrias complexas interferem significativamente nos resultados, e mesmo mantendo uma similaridade com as características de geometrias básicas como esfera, cilindro e cones, a RCS de uma aeronave não pode ser avaliada de maneira individual ou por partes.

A alteração geométrica somada à aplicação de materiais absorvedores de radiação eletromagnética são ferramentas indispensáveis para a redução da Seção Reta Radar, e os resultados provindos destas atividades podem atuar de maneira positiva ou negativa dependendo da manipulação destas variáveis.

5. Divulgação dos Resultados

- Congresso SAE Internacional – “Redução da Seção Reta Radar de Veículo Aéreo Não Tripulado com uso de material compósito-polimérico” (Trabalho aceito);



- Congresso SBPMAT – “Polyaniline eletrossynthesis on composite surface carbon fiber-epoxy Aeronautic application” (Aguardando aceite de resumo);
- Seminário Feira de Gestão ETEP Faculdades – Tecnologia Stealth, Aeronaves invisíveis a radar, (Executado três apresentações).

Referências

[1] ANDRADE, L. A.; SANTOS, L. S. C.; GAMA, M. A. Analysis of radar cross section reduction of fighter aircraft by means of computer simulation. Journal of Aerospace Technology and Management, v. 6, n. 2, p. 177-182, Apr.-Jun. 2014.

[2] KNOTT, E. F.; SHAEFFER, J. F.; TULEY, M. T. Radar cross section. 2nd.ed. Boston, MA: Artech House, 1993.

[3] NORBERTO, T. S. S.; ANDRADE, L. A.; RESENDE, M. C. Predição da seção reta radar da aeronave F-5 via simulação numérica. In: SIGE - SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES OPERACIONAIS EM ÁREAS DE DEFESA, 10., 2008, São José dos Campos. Anais... São José dos Campos: ITA, 2008 P.277-281<http://www.sige.ita.br/anais/XSIGE/pdf/P_5.pdf>. Acesso em: 27 março 2015.

[4] CATIA 2015: manual do usuário. Disponível em: <www.catia.com>. Acesso em: 01 novembro 2015.

[5] COMPUTER SIMULATION TECHNOLOGY. Manual do usuário CST Studio Suite versão 2012. Disponível em: <www.cst.com>. Acesso em: 01 nov. 2015.

[6] CADIRCI S. RF Stealth (or low observable) and counter-RF Stealth technologies: implications of counter-RF Stealth solutions for Turkish Air Force. 2009. 161f. Thesis. (Master of Science in Electronic Warfare Systems Engineering) - Naval Postgraduate School, Monterey, California, 2009.