

Influência da Discretização de Modelos em Simulações de Seção Reta Radar

Mauro A. Alves, Luiz A. Andrade e Mirabel C. Rezende
Instituto de Aeronáutica e Espaço, Divisão de Materiais, São José dos Campos, SP, Brasil

Resumo — Programas de simulação da seção reta radar (RCS) são ferramentas importantes para o estudo do comportamento da RCS de vários tipos de plataformas. Estes programas produzem resultados precisos a um custo relativamente baixo. No entanto, para se obter resultados confiáveis a partir de simulações é necessário que a plataforma seja representada por um modelo CAD muito bem detalhado. Neste trabalho é mostrado como valores de RCS simulados com o uso de modelos em CAD variam em função da discretização da superfície destes modelos.

Palavras-chaves — Seção Reta Radar, Aeronaves, Modelo CAD, Simulação.

I. INTRODUÇÃO

Com a introdução no mercado de computadores cada vez mais velozes e capazes, a simulação numérica de fenômenos de espalhamento eletromagnético se tornou uma ferramenta rápida e eficiente para a análise da seção reta radar (RCS) de vários tipos de plataforma de interesse militar ou civil. Entre as várias vantagens do uso de programas de simulação, pode-se mencionar o custo efetivo, a melhor visualização de áreas de alta refletividade ao radar na superfície da plataforma e a versatilidade no cálculo da RCS para diferentes condições tais como variações da distância entre o radar e a plataforma, do coeficiente de refletividade da superfície, etc. Mais ainda, através de simulações é possível prever a RCS de uma plataforma ainda em desenvolvimento e sugerir alterações no projeto antes que o mesmo passe ao processo de manufatura.

No entanto, programas de simulação podem gerar valores de RCS que não correspondem à realidade da plataforma sendo estudada se esta plataforma não possuir uma representação bem detalhada. Para demonstrar o quão importante é a representação de um modelo, a RCS de um cilindro foi simulada para diferentes níveis de discretização de sua superfície. Também é mostrado como RCS simulada de uma aeronave pode ser alterada em função do nível de detalhamento de sua superfície.

M. A. Alves, malves@iae.cta.br, Tel. +55-12-39476471, L. A. Andrade, andrade@iae.cta.br, M. C. Rezende, mirabel@iae.cta.br, Este trabalho foi parcialmente financiado pela FINEP, através do Projeto MARE.

II. SEÇÃO RETA RADAR

A seção reta radar (RCS) é a medida da capacidade de um alvo espalhador de refletir sinais de radar na direção do emissor de ondas de radar. Ela pode ser definida por [1], [2]:

$$\sigma = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \frac{|E^E|^2}{|E^I|^2} \quad (1)$$

onde r é a distância entre o alvo e o ponto de observação, E^E e E^I são os valores dos campos elétricos incidente e espalhado, respectivamente. Equação (1) é válida quando o alvo é iluminado por uma onda plana, ou seja, quando o alvo está localizado no campo distante do emissor, i.e., quando $r \geq 2D^2/\lambda$, onde D é a maior dimensão do alvo [2]. Usualmente, devido à grande variação dos valores de RCS para um mesmo objeto, uma escala de potência logarítmica é usada com referência ao valor de $\sigma_{ref} = 1 \text{ m}^2$:

$$\sigma_{dBsm} = 10 \log_{10} \left(\frac{\sigma_{m^2}}{\sigma_{ref}} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{\sigma_{m^2}}{1} \right) \quad (2)$$

Apesar da aparente simplicidade da definição de RCS, a solução de (1) existe apenas para objetos com geometria simples. Para objetos com geometria complexa a solução de problemas de espalhamento eletromagnético requer que as equações de Maxwell sejam resolvidas sob condições de contorno muito complicadas o que torna intratável o tratamento matemático deste tipo de problema. Portanto, para se calcular a RCS de objetos com geometrias complexas é necessário recorrer a programas que utilizam métodos numéricos. Existem no mercado vários programas comerciais que empregam métodos numéricos para a simulação da RCS de alvos complexos. Neste trabalho, as simulações de RCS foram realizadas através do programa comercial *CADRCS* [3].

III. PROGRAMA DE SIMULAÇÃO CADRCS

CADRCS, assim com outros programas de simulação de espalhamento de ondas eletromagnéticas, usa técnicas de traçado de raios combinadas à física óptica para o cálculo da RCS de um objeto. *CADRCS* também considera o sombreado de raios o que torna os cálculos bastante precisos para objetos maiores que o comprimento de onda do radar [4]. Detalhes a respeito da teoria e métodos utilizados por este programa são considerados material classificado por seus autores e, portanto, não estão disponíveis aos seus

usuários. *CADRCs* é um programa versátil; com ele é possível simular a RCS de um objeto em várias situações diferentes, como por exemplo, variando-se a distância entre o alvo e o radar, atribuindo-se diferentes valores de refletividade à superfície do alvo, utilizando-se diferentes polarizações da onda de radar, etc. Um computador PC Pentium 4 3.2 GHz com 3.0 GB de memória RAM foi utilizado nas simulações. Com um computador como este as simulações da RCS de objetos com geometria simples são obtidos em algumas horas, por outro lado, os cálculos da RCS de objetos complexos representados por modelos CAD bem detalhados requerem vários dias de tempo de computador.

III. SIMULAÇÕES

Dois tipos de alvos foram simulados com *CADRCs*: Um cilindro com 2 m de raio e 2 m de altura, e a aeronave de combate F-5. O cilindro foi criado através do programa *Rhinoceros* e sua superfície foi discretizada por um gerador automático de malhas. Vários modelos de cilindros cujas superfícies possuem diferentes níveis de detalhamento foram gerados. Dois modelos CAD da aeronave F-5 foram utilizados nas simulações, as superfícies desses modelos foram também discretizadas através do gerador automático de malhas do programa *Rhinoceros*. Um dos modelos da aeronave teve a superfície discretizada em cerca de 2.000 elementos triangulares; o outro, mais detalhado, teve a sua superfície discretizada em mais de 21.000 elementos triangulares.

Em todas as simulações os alvos foram iluminados por uma onda de radar com frequência de 10 GHz e polarização vertical. Os alvos se encontravam a distâncias que satisfaziam à condição de campo distante.

A. Cilindros

Na Fig.1 é mostrado um exemplo de um modelo de cilindro utilizado em uma das simulações. Nota-se nesta figura que a discretização da superfície dos cilindros gera prismas poligonais. O comprimento da aresta dos polígonos das bases dos prismas foi o único parâmetro utilizado na discretização das superfícies dos modelos dos cilindros. A aresta da base poligonal do modelo de cilindro com o nível mais baixo de discretização tem o comprimento de 40 cm e a sua superfície foi discretizada em 380 elementos triangulares. O modelo de cilindro que apresenta o maior nível de discretização possui aresta com 1 cm de comprimento e a sua superfície foi discretizada em 326.170 elementos triangulares.

As simulações foram realizadas com os modelos dos cilindros girando ao redor do eixo de simetria perpendicular às bases dos mesmos. Valores de RCS foram medidos para intervalos de ângulo de aspecto de $0,1^\circ$.

A RCS de um cilindro ideal, 100% refletor às ondas de radar, medida nas condições acima deve ser constante com respeito ao ângulo de aspecto. O seu valor é dado por [5]:

$$\sigma = \frac{2\pi L^2 a}{\lambda} \quad (3)$$

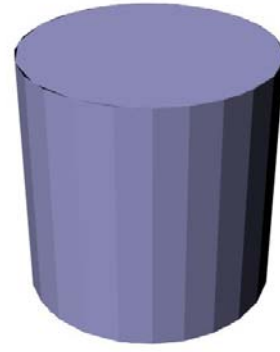


Fig.1. Representação CAD do modelo de um cilindro utilizado nas simulações com o programa *CADRCs*. A aresta da base poligonal tem comprimento de 40 cm e a superfície deste modelo é discretizada em 380 elementos triangulares.

onde L é a altura do cilindro, a o seu raio, e λ o comprimento de onda de radar. Para o cilindro ideal, representado pelos modelos nas simulações, a RCS é de $837,8 \text{ m}^2$ ou $29,2$ quando expressa em dBsm.

Na Fig. 2 é mostrada a comparação da RCS simulada por *CADRCs* para vários modelos de cilindros e o valor de RCS do cilindro ideal.

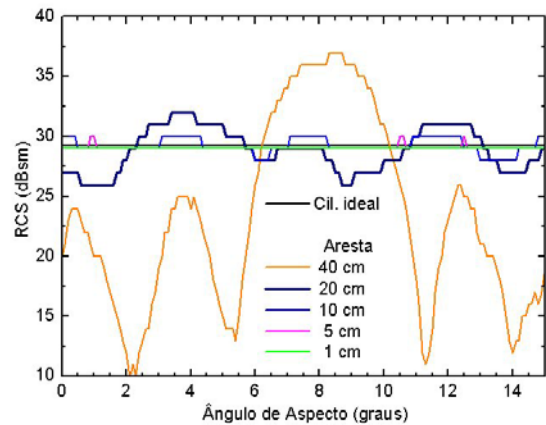


Fig. 2. Comparação da RCS simulada para vários modelos de cilindros com a RCS de um cilindro ideal. A aresta da base poligonal dos modelos que representam o cilindro é indicada na figura. Quanto menor o valor da aresta maior o grau de discretização da superfície do modelo.

Valores aceitáveis da RCS calculada para o modelo do cilindro foram obtidos para valores de aresta menores ou iguais a 1 cm. É importante notar que este tipo de resultado depende da frequência da onda de radar que ilumina o modelo. Para valores menores de frequência da onda de radar e para os mesmos modelos utilizados pode-se afirmar que valores aceitáveis de RCS serão obtidos para valores maiores de aresta; o reverso também é verdadeiro. Isto está relacionado à como o comprimento de onda de radar se compara às dimensões dos elementos utilizados na discretização da superfície do modelo.

B. Aeronaves

Nas Figs. 3 e 4 são mostrados os modelos das aeronaves com diferentes níveis de discretização de suas superfícies.



Fig.3. Representação CAD do modelo da aeronave F-5 utilizado nas simulações com o programa CADRCS. A superfície deste modelo foi discretizada em 2014 elementos triangulares.



Fig.4. Representação CAD do modelo da aeronave F-5 utilizado nas simulações com o programa CADRCS. A superfície deste modelo foi discretizada em 21218 elementos triangulares.

A comparação dos modelos acima mostra que existe uma diferença visível na presença de detalhes e na representação das superfícies dos modelos. É fácil constatar que a superfície do modelo menos detalhado é formada por grandes polígonos planos.

A comparação dos resultados da simulação da RCS destes dois modelos através do programa CADRCS é mostrada na Fig. 5. Nestas simulações os valores de RCS foram calculados a intervalos de $0,5^\circ$ com os modelos girando ao redor de um eixo de rotação perpendicular ao plano horizontal. Nesta figura percebe-se que o padrão da RCS simulada para os dois modelos possui similaridades. No entanto, a RCS do modelo de menor resolução tende a ser maior do que a do modelo de maior resolução. Este é um resultado de certa forma esperado, pois a superfície do modelo com menor resolução é representada essencialmente por um conjunto de placas planas de grande extensão. Placas planas são ótimas refletoras de ondas de radar; dependendo da orientação relativa entre o modelo da aeronave e a direção de incidência das ondas de radar, uma parte maior da energia incidente sobre o modelo pode ser refletida na direção do observador. Por outro lado, quanto maior a discretização da

superfície, maior é o espalhamento das ondas de radar em outras direções diferentes da direção de incidência.

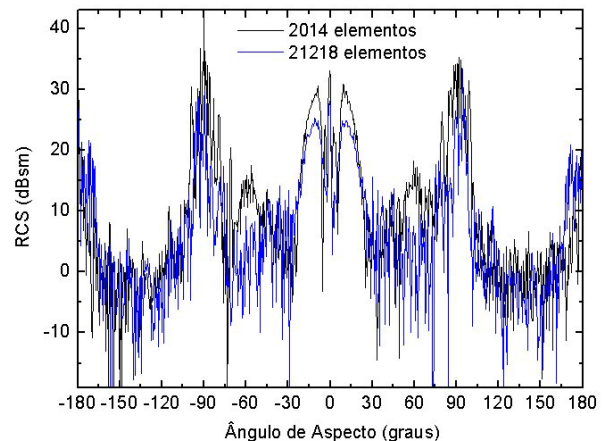


Fig.5. Comparação das simulações da RCS para os modelos da aeronave F-5 mostrados nas Figs 3 e 4.

IV. CONCLUSÃO

A simulação do espalhamento eletromagnético por meios numéricos é um meio rápido e eficiente de se obter a RCS de uma plataforma. No entanto, cautela deve ser exercida ao se interpretar os resultados destas simulações. Os resultados apresentados mostram que mesmo para um objeto com geometria relativamente simples as simulações são extremamente dependentes de como a plataforma ou objeto é modelado ou como a sua superfície é discretizada.

REFERÊNCIAS

- [1] "IEEE Standard Definitions for Terms for Antennas," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. AP-37, pp.956-966, June 1989.
- [2] E. F. Knott; J. F. Schaeffer and M.T. Tuley; "Radar Cross Section", 2ª edição, Artech House Inc., USA, 1993
- [3] G. A. Lindqvist. CADRCS simulation tool. CSS, Copenhagen, Denmark
- [4] H. Essen, S. Boehmsdorff, G. Briegel e A. Wahlen, "On the Scattering Mechanism of Power Lines at Millimeter-Waves", *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 40, no. 9, pp1895-1903, September 2002.
- [5] J. W. Crispin e K. M. Siegel, "Methods of Radar Cross-Section Analysis", Academic Press, New York, USA, 1968.

