

# Estudo da Implementação de um Sistema de Supressão de Ruídos Ativo em Medidas de RCS na Banda C

Marcelo A. S. Miacci<sup>1</sup>, Inácio M. Martin<sup>1,2</sup> e Mirabel C. Rezende<sup>3</sup>

1-Instituto Tecnológico da Aeronáutica, S J dos Campos, SP. 2-Universidade de Taubaté/UNITAU, Taubaté, SP,

3 -Instituto de Aeronáutica e Espaço, IAE, S J dos Campos, SP

**Resumo** — O presente artigo pretende mostrar os trabalhos preliminares em andamento na AMR/IAE/CTA na configuração de um conjunto experimental necessário para determinar as fontes de erros nas medidas de RCS (Seção Reta Radar) e minimizá-las a partir de um sistema desenvolvido para medir alvos na Banda C (6,0 GHz), em campo fechado, utilizando câmara anecóica, com alta precisão. Foram utilizadas técnicas de circuitos de microondas com supressão de ruído ativo através do princípio de cancelamento de fase. Através deste trabalho foi possível efetuar a comparação das medidas de seção reta radar (RCS) com e sem a atuação do sistema e observar a sua influência nessas medidas. Dado aos resultados obtidos com boa precisão pode-se afirmar que a implementação deste sistema em medidas futuras será muito útil e necessária para a determinação de RCS de objetos complexos, tais como mísseis, aeronaves e helicópteros.

**Palavras-chaves** — seção reta radar, microondas, câmara anecóica, mísseis, aeronaves, helicópteros.

## I. INTRODUÇÃO

A análise de espalhamento eletromagnético de objetos metálicos é muito importante no conhecimento da RCS de alvos, assim como o espalhamento de superfícies dielétricas e magnéticas são muito importantes no estudo da redução de RCS. Dentro deste contexto, a análise da RCS de alvos de geometrias simples é fundamental na compreensão de alvos de geometrias complexas, tais como: aviões, mísseis, foguetes, carros de combate, entre outras [1].

As medidas de RCS são realizadas por diversas razões, a principal é verificar os limites de detecção de um alvo por um sistema de radar ao qual este é submetido, verificando a conformidade de modelos práticos, concebidos via equacionamento teórico.

Para caracterizar o comportamento eletromagnético de alvos, muitos métodos vêm sendo propostos e usados experimentalmente durante várias décadas e seus resultados têm sido bem aceitos [2].

Dependendo do tamanho do alvo sob teste, e as frequências a serem utilizadas, as medidas devem ser feitas em ambientes fechados, também designadas de medidas *indoor*, ou em ambientes abertos, medidas *outdoor* [3].

Um importante fator para as medidas de RCS é que o alvo seja iluminado pelo radar com uniformidade de amplitude e fase da onda. Na prática, a tolerância máxima para a variação de amplitude sobre um alvo é de 0,5 dB e para o desvio de fase o valor máximo é de 22,5 graus. Esses fatores caracterizam a região de campo distante, definida em (1) [4].

$$r \geq \frac{2d^2}{\lambda}, \quad (1)$$

onde:  $r$  é distância entre radar e alvo (m),  $d$  é dimensão do alvo sob teste (m) e  $\lambda$  é comprimento de onda na frequência de medida (m).

Os erros atribuídos à instrumentação do radar não devem ser superiores a 0,5 dB, o que acarreta em uma cuidadosa seleção de componentes. Essa tolerância (0,5 dB) não deve variar com o tempo, de modo a evitar flutuações no traçado dos diagramas de RCS. A faixa dinâmica do sistema deve ser de no mínimo de 40 dB, para medidas de alvos com pequenos valores de RCS, embora sejam preferíveis valores de 60 dB ou superiores para estudos da redução da RCS, principalmente quando da utilização de materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE).

Outro fator importante a ser considerado é a estrutura dos suportes de alvos sob teste, que não devem interferir com a onda incidente, porém na prática o atendimento dessa condição é limitado.

Em adição, as antenas de transmissão e recepção (TX/RX) devem ser projetadas para concentrar energia, na área onde o alvo se encontra e, conseqüentemente, a densidade de potência incidente varia de acordo com o apontamento da antena em relação ao alvo.

Como se podem verificar, os erros em medidas de RCS dependem da natureza do alvo sob teste, da distância na qual este alvo está sendo medido e do local de medidas.

Os sistemas de medidas de RCS são projetados de modo a respeitar os parâmetros acima descritos, porém esses apresentam desafios técnicos complexos, fazendo com que o uso adequado dos procedimentos experimentais envolva o uso de novas técnicas que possam minimizar esses erros.

Neste artigo é proposto um sistema discriminador de alvos integrado a um circuito supressor de ruídos que utiliza a técnica de cancelamento de fase, para ser implementado ao sistema de medidas de RCS utilizado atualmente.

[marcelomiacci@uol.com.br](mailto:marcelomiacci@uol.com.br), [mirabel@iae.cta.br](mailto:mirabel@iae.cta.br), [martin@ita.cta.br](mailto:martin@ita.cta.br), Tel. +55-12-3947-6420.

Este trabalho foi apoiado pelo Ministério da Defesa/Comando da Aeronáutica, Brasil, CNPq(Proc. 471931/03-9) e FAPESP (Proc. 03/00716-4).

## II. Materiais e Metodologia

A especificação do circuito para a faixa de frequências da banda C foi dada, principalmente, visando atender a condição de campo distante e a adaptação de um sistema de medidas com alta gama dinâmica, visto os parâmetros práticos descritos em literatura [5]. Com a proposta da implementação de um sistema de medidas na banda C é esperado que seja facilitada a detecção de alvos de pequena seção reta radar, onde o estudo efetivo da aplicação de MARE nesses alvos e a conseqüente redução da sua RCS possam ser estabelecidos com alto grau de confiabilidade.

Neste novo projeto foram abordados alguns parâmetros considerados críticos em experiências anteriores, tais como: condição de campo distante, acoplamento entre antenas, reflexões internas da câmara anecóica, reflexões do suporte dos alvos e gama dinâmica.

O dispositivo proposto foi projetado como um circuito discriminador de alvos, no intuito de melhorar o desempenho de um sistema de medidas de RCS implementado para a banda C. Este projeto foi desenvolvido visando aumentar a sensibilidade e a gama dinâmica do sistema de medidas e cancelar fontes de reflexão que não são de interesse na caracterização de alvos em estudo, como contribuições dos suportes, o acoplamento entre antenas e reflexões espúrias da própria câmara anecóica. O sistema completo de medidas, juntamente com o circuito, possui o diagrama de blocos simplificado, mostrado na Figura 1.

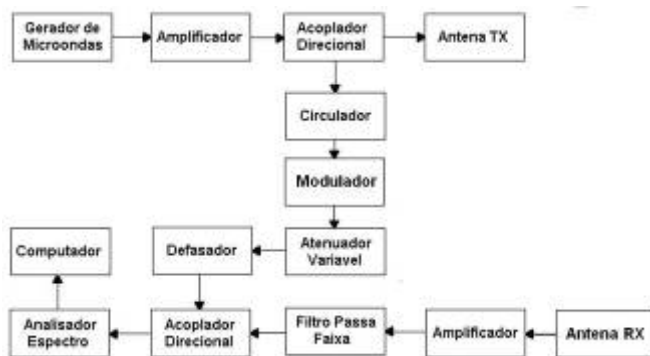


Fig. 1: Diagrama de blocos do sistema de medidas proposto com o circuito discriminador de alvos.

O princípio de funcionamento baseia-se na detecção e discriminação dos sinais sem interesse e a aplicação do princípio de cancelamento de fase através da geração de um sinal de mesma amplitude e fase oposta, em relação ao sinal a ser cancelado. Deste modo, após a atuação do sistema é esperado que apenas o sinal do alvo sob teste seja visualizado.

O protótipo desenvolvido consiste de sistemas para discriminação de alvos, redução de ruídos e sinais espúrios inerentes aos sistemas de medidas de RCS em campo fechado ou aberto para a faixa de frequências da banda C.

Este circuito realiza uma amostragem do sinal transmitido, discrimina os sinais das reflexões espúrias e faz a inversão de fase dos sinais recebidos. Este processo ocorre até que todos os sinais indesejados sejam cancelados restando, assim, somente o nível de ruído mínimo dado pelo

receptor. Neste processo é utilizado o princípio de cancelamento por inversão de fase, minimizando assim sinais indesejáveis ao sistema de medidas, tais como: reflexão de suportes, posicionadores, absorvedores dentre outras possíveis fontes desconhecidas.

O circuito proposto pode ser observado na Figura 2 onde são vistos os componentes utilizados, tais como: circulador, atenuador, acoplador, filtro e etc.

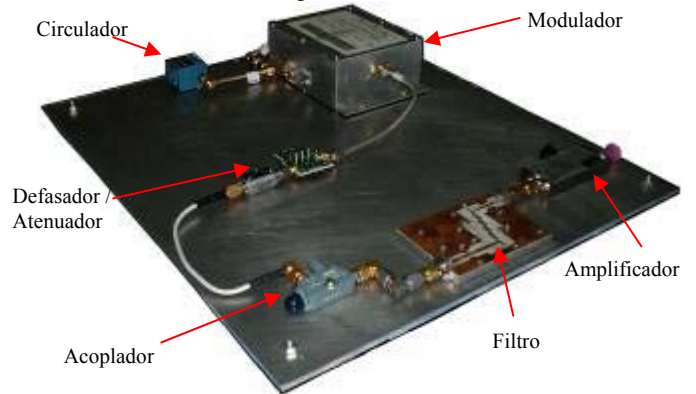


Fig. 2: Vista do circuito discriminador de alvos montado para banda C.

## III. MEDIDAS EXPERIMENTAIS

### A. Equipamentos utilizados

Para a realização das medidas foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Analisador de espectro Anritsu MS2668C
- Gerador de microondas Agilent 83752A
- 02 (duas) antenas tipo *Double Ridge* (faixa de 1 a 18 GHz)
- Suportes de fixação
- Cabos coaxiais e conectores
- Uma placa plana metálica de (0,2 x 0,2) m

### B. Metodologia das medidas

Para avaliação e demonstração do princípio de funcionamento do sistema visto na Figura 3, este circuito, foi testado em bancada utilizando-se uma câmara anecóica de pequenas dimensões (3,0 x 2,0 x 1,5) m disponível no CTA/IAE/AMR.



Fig. 3: Sistema de medidas para caracterização do circuito desenvolvido

Foi montado um sistema de teste em laboratório conforme visto na Figura 4, onde se vêem instaladas duas antenas do tipo *Double Ridge* como transmissora e receptora. Nesta câmara foi utilizado como alvo sob teste uma placa plana de (0,2 x 0,2) m (Figura 5) para avaliação de suas características funcionais para um sinal na frequência de 6,0 GHz.

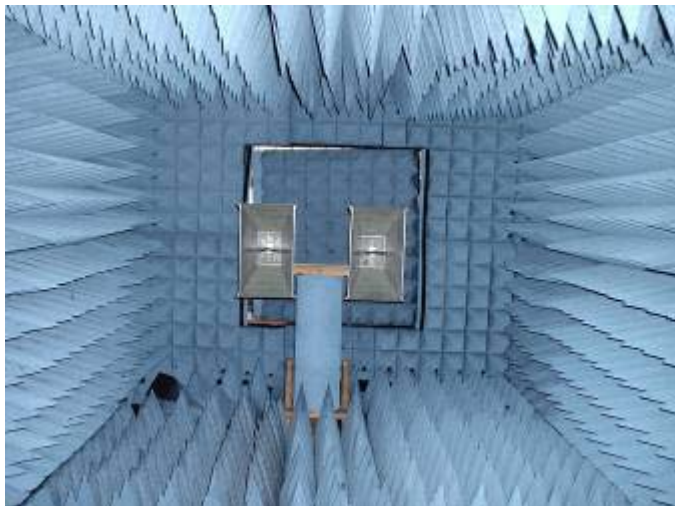


Fig. 4: Detalhe de montagem das antenas *Double Ridge* em câmara anecóica.

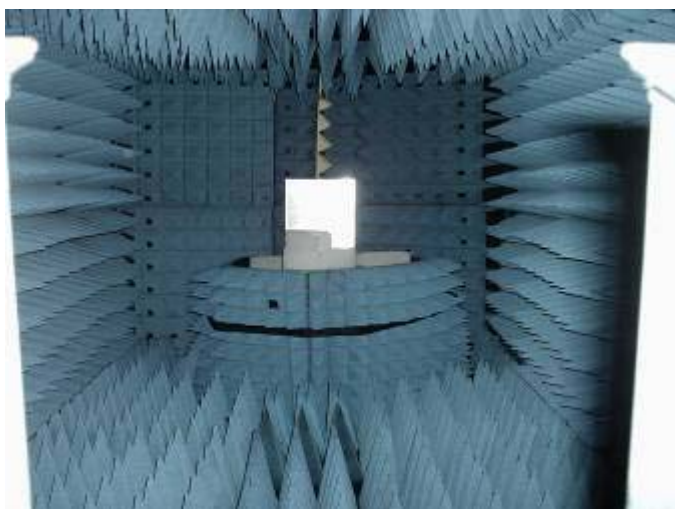


Fig. 5: Detalhe de montagem do alvo sob teste na câmara anecóica.

O sistema foi montado conforme a Figura 1 e a placa foi caracterizada na frequência de 6,0 GHz.

Para minimizar um possível acoplamento eletromagnético entre as antenas, foram utilizadas entre estas mantas absorvedoras comerciais nesse intervalo de frequências. Este processo monoestático de medidas é mais simples e melhor adaptado para interiores de câmaras anecóicas.

#### IV. RESULTADOS OBTIDOS

O nível de ruído da câmara foi medido sem a atuação do circuito (Figura 6) utilizando-se o analisador de

espectro configurado para medidas no domínio da frequência. Em seguida foi traçado um diagrama de RCS da placa plana com o resultado mostrado na Figura 7, onde se observa a configuração do equipamento no domínio do tempo.

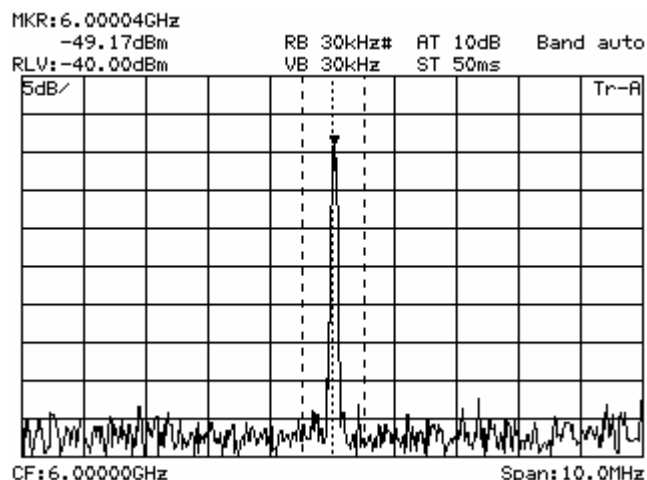


Fig. 6: Nível de sinal de ruído da câmara anecóica da AMR, sem atuação do circuito projetado e construído.

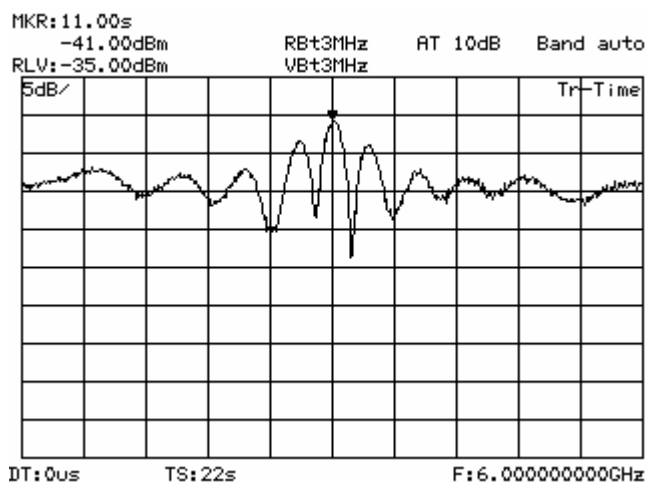


Fig. 7: Medida da RCS da placa plana (0,2 x 0,2) m sem atuação do circuito.

Observa-se que devido ao elevado grau de reflexão da câmara anecóica somado ao intenso acoplamento entre antenas, devido a estas terem feixes de radiação largos, o nível de ruído é muito alto. Isto acarreta em uma deformação pronunciada do diagrama da placa plana que pode ser avaliada por resultados preditos pela literatura [6] e por experiência prática de nossas medidas anteriores [7].

Após a atuação do circuito foi medido novamente o nível de ruído da câmara e traçado um novo diagrama de RCS da placa plana, onde é observada a atenuação do sinal interferente em aproximadamente, 35dB, como mostra a Figura 8. Observa-se, também, que nesta nova configuração a formação do diagrama da RCS da placa plana é mais próxima do esperado, como visto na Figura 9.

## V. CONCLUSÕES

A comparação dos resultados obtidos mostra que as medidas realizadas evidenciam a eficiência do circuito projetado e construído, onde a redução de sinais interferentes na faixa de frequências especificada, são significativamente atenuados. É possível afirmar que as medidas de RCS realizadas com este circuito atuando são muito mais precisas devido ao ambiente de testes totalmente livre de sinais espúrios. Sinais estes que reduzem a precisão de sistemas de medidas e conduzem a falsas conclusões em análises de diagramas de RCS. Assim o sistema proposto auxilia o estudo de reflexão de alvos para radar.

No entanto, medidas mais apuradas podem ser realizadas no intuito de se determinar com maior precisão a sua influência em alvos de geometrias complexas, visto que estas medidas preliminares podem ser aplicadas para câmaras anecóicas de maiores dimensões ou até mesmo para medidas em campo externo.

## VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ e à Fapesp por apoiar este projeto e à Divisão de Materiais/IAE, em particular à equipe MARE dessa Divisão, pelo apoio e dedicação que vêm dando a esta atividade.

## REFERÊNCIAS

- [1] MIACCI, M. A. S. *Determinação Experimental do Espalhamento Monoestático de Microondas por Alvos de Geometrias Simples*. 2002. 122f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Curso de Física na Área de Física de Plasmas, ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- [2] KNOTT, E.F., Schaeffer, J. F. and Tuley, M.T.; “Radar Cross Section” 2<sup>nd</sup> edition, Artech House Inc., USA, 1993.
- [3] DYBDAL, ROBERT B. Radar Cross Section Measurements. Proceedings of the IEEE, vol 75, no. 4, p.498-516, Los Angeles, April 1987.
- [4] SKOLNIK, MERRILL. *Radar Handbook*. 2 ed., Mc Graw Hill, New York, 1990.
- [5] CURRIE, NICHOLAS C., *Radar Reflectivity Measurement: Techniques and Applications*. 1 ed., Artech House, Norwood, 1989.
- [6] RUCK, GEORGE T., BARRICK, DONALD E., STUART, WILLIAM D., KRICHBAUM, CLARENCE K. *Radar Cross Section Handbook*. vol 1 and 2, Plenum Press, New York, 1970.
- [7] MIACCI, M. A. S. *Avaliação de Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética Aplicados em Alvos de Geometrias Complexas Via Técnica RCS*. Relatório Científico, AMR/IAE/CTA, São José dos Campos, 2006.

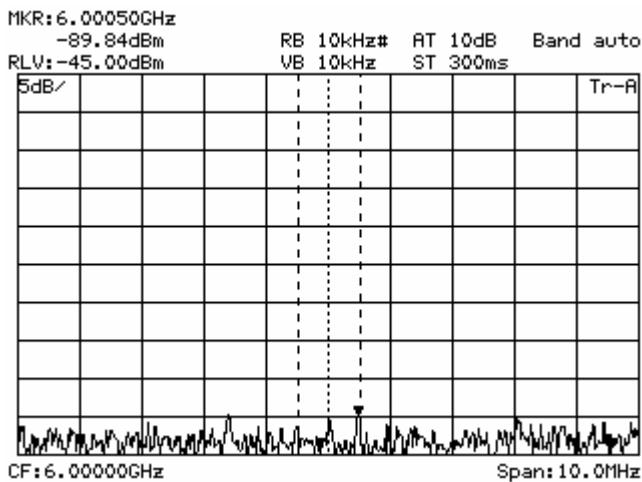


Fig. 8: Nível de sinal de ruído da câmara anecóica da AMR com a atuação do circuito.

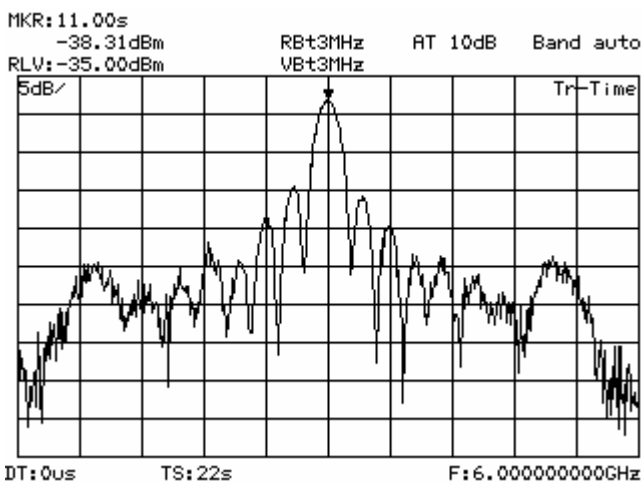


Fig. 9: Medida da RCS da placa plana (0,2 x 0,2) m com a atuação do circuito.

É observada claramente, a influência do circuito fazendo com que o diagrama da placa se aproxime do previsto teoricamente [6].

Além disso, é verificado o aumento da gama dinâmica de 10 dB para aproximadamente 50dB, após o uso do circuito proposto, o que acarreta no proporcional aumento da sensibilidade do sistema que nesse caso passou de -49 dBm para aproximadamente -90dBm.

Em termos de valores de RCS, se a placa plana sob teste tem uma RCS em torno de  $8,0 \text{ m}^2$  ( $\sim 9,0 \text{ dBsm}$ ) em 6,0 GHz, o mínimo valor detectável no sistema de medidas passa de  $1,2 \text{ m}^2$  ( $\sim 0,8 \text{ dBsm}$ ) para  $5.10^{-5} \text{ m}^2$  ( $\sim -43\text{dBsm}$ ).

Pode-se afirmar, também, que o estudo da redução da seção reta radar pela utilização de MARE de alta atenuação, poderá ser realizado com maior precisão, em função da alta sensibilidade do novo sistema de medidas.

Estes resultados estimularam o uso do novo sistema na câmara anecóica do CTA/IFI para testes em alvos complexos, tais como setores de mísseis já avaliados em banda X.