

# Estudo da influência dos parâmetros concentração de ferro carbonila e espessura em medidas de refletividade de MARE

Tiago Fernando Miquelim

Escola de Engenharia de Lorena – Universidade de São Paulo

Adriana Medeiros Gama

Instituto Tecnológico de Aeronáutica – Pça. Mal-do-Ar Eduardo Gomes, 50, 12228-900 - São José dos Campos - SP.

Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial – Divisão de Materiais – Pça. Mal-do-Ar Eduardo Gomes, 50 – 12228-904 - São José dos Campos - SP.

Mirabel Cerqueira Rezende

Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial – Divisão de Matérias – Praça Mal-do-Ar Eduardo Gomes, 50 – 12228-904 – São José dos Campos – SP.

**Resumo** — O presente trabalho visa o estudo da influência dos parâmetros de processamento – concentração de ferro carbonila e espessura – no desenvolvimento de materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE), comparando resultados de medidas de refletividade obtidos na faixa de frequências de 8,0 – 12,0 GHz (banda X). O material desenvolvido é composto por uma matriz polimérica (silicone) e pelo aditivo ferro carbonila, obtido pela decomposição térmica da pentacarbonila de ferro. A característica de absorção eletromagnética do material pode ser atribuída às propriedades físicas e químicas dos compostos utilizados, que convertem a energia da onda eletromagnética incidente em energia térmica. Assim como, à espessura dos absorvedores obtidos, que pode favorecer perdas da radiação incidente pelo cancelamento de fases da onda, com o favorecimento de deslocamentos no intervalo de atenuação. O método de caracterização eletromagnética adotado foi baseado na técnica de medidas de refletividade em guias de ondas, posicionando o material a ser caracterizado em uma cavidade de guia de ondas, utilizando um acoplador direcional na faixa de frequências entre 8,0 – 12,0 GHz. Este trabalho mostra que foram observados discutidos alguns fatores do processo de fabricação de MARE, determinados pela variação da concentração do aditivo ferro carbonila na matriz polimérica e a espessura da manta absorvedora.

**Palavras-chaves** — ferro carbonila, silicone, refletividade, material absorvedor, radiação eletromagnética.

## I. INTRODUÇÃO

O aumento na demanda por materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE) tem se constituído em uma importante atividade de pesquisa nestas últimas décadas, envolvendo diferentes profissionais que trabalham em conjunto para o melhor desenvolvimento desses materiais.

Tanto na área civil, quanto na militar, o uso desse tipo de material se faz necessário em muitos casos. Sistemas de telecomunicações, processamento digital de informações, redes de distribuição de energia, telefonia celular, prevenção de “fantasmas” em aparelhos de TV, segurança em fornos microondas, equipamentos hospitalares, representam a maior parte do mercado para aplicação de materiais absorvedores de microondas na área civil [2].

No campo militar, as maiores aplicações são como materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE) ou RAM - *Radar Absorbing Material* e estruturas absorvedoras de radar (*Radar Absorbing Structures*). Os MARE são utilizados no revestimento de superfícies externas e internas de aeronaves, veículos e embarcações militares, visando a “invisibilidade” ao radar, através da redução à refletividade da energia da onda eletromagnética incidente [6].

Basicamente, existem três técnicas de projetos e obtenção de absorvedores de radiação eletromagnética: cancelamento da onda eletromagnética incidente, espalhamento múltiplo da onda eletromagnética, e utilização de materiais com perdas eletromagnéticas intrínsecas, dentro da faixa de frequências de interesse [1].

A técnica de cancelamento de fases da onda eletromagnética procura ajustar a espessura do absorvedor, de forma a provocar o cancelamento de fases da onda incidente com as da onda emergente do absorvedor, na interface do material absorvedor com o ar. Esta técnica é amplamente utilizada na produção de absorvedores conhecidos ressonantes. Absorvedores ressonantes representam a maior parte do mercado. Esses absorvedores apresentam desempenhos relativamente bons, porém são efetivos somente em faixas de frequências muito estreitas [1].

A técnica de espalhamento da onda eletromagnética é a mais utilizada, quando o principal interesse é reduzir o eco-radar pelo efeito físico de espalhamento da onda refletida em direções diferentes da antenna receptora [1].

Materiais utilizados convencionalmente como absorvedores adotam um dos dois tipos de mecanismos de perdas: dielétricas e/ou magnéticas [6].

Materiais como o carbono e os polímeros condutores atenuam a onda incidente via mecanismos de perdas perdas dielétricas e as ferritas por perdas magnéticas. Esses materiais podem ser utilizados sozinhos ou na formação de compósitos dependendo do nível de perdas que se deseja alcançar.

Para que haja a detecção do objeto, as ondas do radar incidentes no alvo devem retornar à antena receptora (eco radar). Com a finalidade de se obter uma baixa detecção, uma grande porcentagem da energia dos sinais do radar, que atinge o objeto, precisa ser absorvida ou espalhada por sua superfície. A energia que for espalhada deve ser refletida em direções distintas da direção do receptor em que o sinal foi gerado.

O sinal de radiação refletido pelo objeto também se propaga esféricamente. A quantidade de energia que retorna ao radar (o eco do radar) dependerá do tamanho do objeto e de suas características de baixa detecção. Se o objeto possui características de baixa detecção, então o sinal será menor do que realmente é, ou seja, a sua RCS será reduzida [5]. No entanto, quando a onda encontra um absorvedor, parte da radiação pode ser dissipada e/ou absorvida dependendo do fator de perda do material.

A espessura do absorvedor é um fator crítico para aplicações militares onde a falta de espaço físico ou a limitação de peso são fatores determinantes na escolha do material absorvedor. O principal desafio na área de absorvedores eletromagnéticos é ajustar as propriedades do material para que absorva na maior faixa de frequências e com menor espessura possível do material absorvedor [3]-[4].

Este trabalho tem como objetivo estudar a influência da variação da concentração do aditivo ferro carbonila na matriz polimérica e da espessura da manta absorvedora em medidas de refletividade na faixa de frequências de 8 a 12 GHz.

## II. PARTE EXPERIMENTAL

Os materiais utilizados para a preparação de MARE foram: pó de ferro carbonila como aditivo e uma matriz polimérica de silicone comercial.

Primeiramente, todas as matérias-primas foram pesadas em recipientes adequados e, posteriormente, misturadas em um equipamento macerador, que realizou a homogeneização da mistura. Após a adição do ferro carbonila ao silicone foi colocado o fluido de silicone, que confere ao material melhor viscosidade. Após a completa homogeneização da mistura, esta foi catalisada na proporção de 1:10 de fluido de silicone. Em seguida, a mistura foi vertida em moldes com diferentes espessuras, de 2,0; 2,3 e 2,5 ± 0,1 mm, que foram prensados em prensa uniaxial com uma carga de, aproximadamente, 2 ton. Após o material ser vertido nos moldes, estes foram colocados no vácuo por 15 minutos e em seguida transferidos para uma estufa a 100°C por uma hora, temperatura e tempo necessários para a cura do material.

O método de caracterização eletromagnética adotado foi baseado na técnica de medidas de refletividade em guia de ondas, posicionando o material a ser caracterizado em uma cavidade de guia de ondas, utilizando um acoplador direcional na faixa de frequências entre 8 – 12 GHz, marca Hewlett-Packard, modelo X752C, ligado a um analisador de rede escalar HP 8757 A (Hewlett-Packard) e a um gerador de

sinais sintetizado 83752A (Agilent), cabos coaxiais de baixas perdas da empresa Adam Russel e Suhner, adaptadores coaxiais de baixas perdas da empresa Suhner, e um microcomputador PC, com interface GPIB (General Purpose Interface Bus). O material de referência, 100% refletor, utilizado foi uma placa metálica de alumínio. A Fig. 1 apresenta a configuração experimental simplificada para as medidas de refletividade.

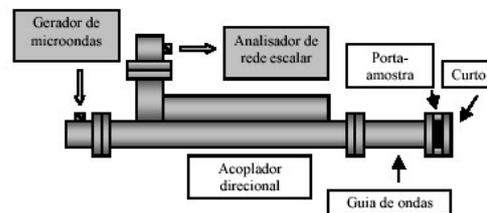
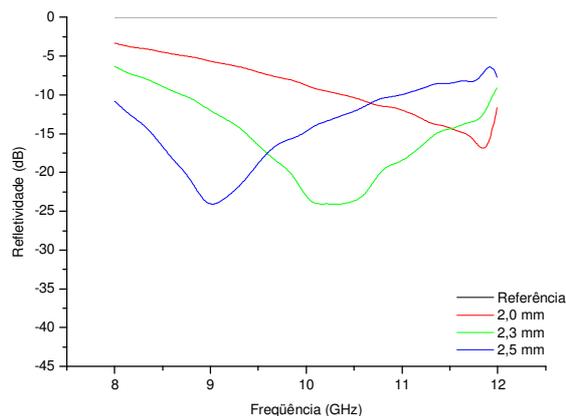


Fig. 1 - Configuração experimental simplificada para as medidas de perda por reflexão.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados de refletividade obtidos é possível analisar a influência da concentração e da espessura de cada material. O gráfico da Fig. 2 mostra as curvas de refletividade dos corpos-de-prova obtidos com a concentração de ferro carbonila de 65% em massa, caracterizados pelo uso da técnica em guia de ondas.



Figuras 2 - Curvas de refletividade de amostras com 65% de ferro carbonila em massa.

A Fig. 2 mostra que para cada espessura, de mesma concentração, o valor da frequência se altera, assim como o valor da refletividade. O material com espessura de 2,5 mm apresenta o melhor valor de refletividade, aproximadamente, -25 dB (na frequência de 9,0 GHz), ou seja, uma atenuação maior que 99% da radiação incidente conforme ilustra a Tab..1.

TABELA 1 - RELAÇÃO ENTRE ATENUAÇÃO DO SINAL REFLETIDO E PORCENTAGEM DE ENERGIA ABSORVIDA [5].

Atenuação da Reflexão (dB)	Energia Absorvida (%)
0	0
-3	50
-10	90
-15	96.9
-20	99
-30	99.9
-40	99.99

A Tab. 1 apresenta a relação entre o valor da atenuação da reflexão (dB) e a porcentagem da energia absorvida do sinal de radiação. Para um valor de -20 dB de atenuação da reflexão, por exemplo, tem-se o equivalente a 99% de absorção da energia incidente.

A Fig. 3 apresenta curvas de refletividade em função da frequência para MARE com a concentração de 70% em massa. Observa-se que quanto maior a espessura do material absorvedor, maior é o valor de refletividade e que cada curva apresenta uma característica distinta quanto à frequência de melhor absorção.

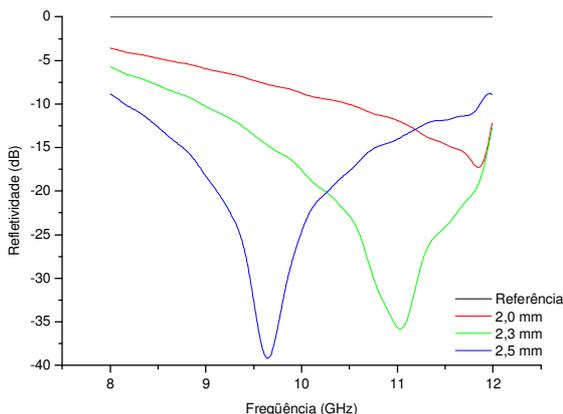


Fig. 3 - Curvas de refletividade das amostras com 70% de ferro carbonila em massa.

A Fig. 4 mostra a sobreposição de curvas de material absorvedor de radiação eletromagnética processados separadamente, mas que apresentam comportamento absorvedor tipo banda larga com significativos níveis de atenuação na faixa de 8,0 a 12,0 GHz. A interpretação destes resultados é um indicativo para o processamento de híbridos, pela combinação conjunta de aditivos magnéticos com diferentes parâmetros de processamento (concentração e espessura), na obtenção de absorvedores sintonizados com a faixa de frequências de interesse a ser atenuada. A análise da figura sugere também o provável comportamento do absorvedor híbrido a ser processado.

Por exemplo, a combinação das duas amostras dá subsídios para a obtenção de um absorvedor tipo banda larga na faixa de 8,0 – 12,0 GHz, com atenuação de -10 dB, ou seja, 90% de absorção da radiação incidente, ou ainda, a atenuação de -20 dB, (99% de absorção), na faixa de 9,0 a 11,0 GHz.

A partir destes resultados pode-se gerenciar a obtenção de absorvedores híbridos, pela combinação de aditivos magnéticos com diferentes concentrações em massa e

espessura, na obtenção de absorvedores banda larga e de espessura mais reduzida.

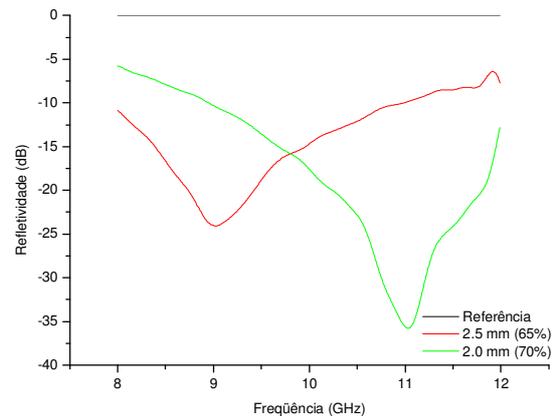


Fig. 4 – Curvas de refletividade de MARE com concentração em massa de 65% (2,5 mm) e 70% (2,0 mm).

Os resultados obtidos neste trabalho mostram uma metodologia promissora para apoiar estudos envolvendo o processamento de MARE com diferentes níveis de atenuação, em diferentes frequências, e com diferentes espessuras, utilizando um aditivo disponível comercialmente. Os resultados experimentais deste estudo também têm apoiado outros trabalhos de elucidação do fenômeno da interação onda-matéria, que rege toda a tecnologia de processamento de materiais absorvedores de radiação eletromagnética na faixa de microondas.

#### IV. CONCLUSÃO

O presente trabalho mostra a influência da concentração do aditivo ferro carbonila em silicone nas medidas de refletividade de MARE, sendo verificado que o aumento da concentração do aditivo magnético e a espessura melhoram a atenuação da radiação incidente. O aditivo ferro carbonila se mostra eficiente como centro absorvedor de radiação na faixa de frequências de 8,0 – 12 GHz. Os resultados das curvas de refletividade mostram a dependência desta tecnologia com a concentração de aditivo utilizada, sendo determinado que os melhores resultados de atenuação são obtidos com a adição de 70% em massa do aditivo (~99,99% de atenuação).

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que o comportamento ressonante observado na amostra de concentração em massa de 65 e 70%, com espessura de 2,5 mm, é governado provavelmente por dois mecanismos principais, o efeito da absorção intrínseca do centro absorvedor e do cancelamento de fases.

Com o gerenciamento da concentração do aditivo é possível obter absorvedores híbridos, ou seja, absorvedores de radiação eletromagnética do tipo banda larga, sendo que somente com a sobreposição das curvas de refletividade dos materiais estudados, observa-se o seu comportamento na faixa de frequências desejada.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro que foi dado pelo CNPq/PIBIQ, Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial e FINEP.

## REFERÊNCIAS

- [1] COHN, Z., DALY, J. and PARKER, C. Advanced Ferrite Materials for Anechoic Chambers. *Ceramic Transactions*, vol. 47, p. 269 – 284, 1995.
- [2] GAMA, A. M.; MOURA, A.; REZENDE, M. C. Desenvolvimento de materiais absorvedores de radiação eletromagnética à base de ferro carbonila e silicone. In: VIII Simpósio de Guerra Eletrônica, São José dos Campos, 2006.
- [3] GAMA, A. M.; MOURA, A.; REZENDE, M. C. Efeito da espessura na refletividade de materiais absorvedores de radiação eletromagnética. In: 51<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Cerâmica, Salvador, 2007.
- [4] GAMA, A. M.; MOURA, A.; REZENDE, M. C.; GONÇALVES, J. M. R. P. Estudo do efeito de aditivos magnéticos/dielétrico no comportamento de borrachas absorvedoras de microondas. In: 9<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Polímeros. Campina Grande, 2007.
- [5] *International Encyclopedia of Composites*. Ed.; VCH Publishers, 6, 1991.
- [6] NAITO, Y. Ferrite Elettromagnetic Wave Absorbers. *Journal de physique IV, Colloque C1, Supplément au Journal de Physique III*, C1-405 – C1-408, 1997.