ESTUDO DAS PROPRIEDADES ELETROMAGNETICAS DE ESTRUTURAS DO TIPO COLMEIAS NA FAIXA DE FREQÜÊNCIA DE 8-12GHz

Adriano Luiz de Paula[1,2], José Jesus Pereira[2,3], Evandro Luís Nohara[3], Cristina Lopes Moniz [2], Mirabel Cerqueira Rezende[2]

1 –Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP) - Faculdade de Educação –Estrada Municipal do Limoeiro, 250 - Villa Branca, Jacareí-SP - CEP: 12.300-000 – e-mail: alpaula@iae.cta.br

2 - Centro Técnico Aeroespacial/Instituto de Aeronáutica e Espaço/Divisão de Materiais - Praça Marechal-do-Ar Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias, São José dos Campos/SP, CEP: 12228-904 – e-mail: mirabel@iae.cta.br

3 – Universidade de Taubaté - Departamento de Engenharia Mecânica - Rua Daniel Danelli, S/N, Campus da Juta, CEP 12060-440 – Taubaté – SP

Resumo: As propriedades eletromagnéticas dos materiais dependem de vários fatores, como as suas características físicas e químicas, bem como a sua geometria. Esses materiais podem apresentar-se como mantas de borracha, tintas, colméias *(honeycomb)* e espumas. A correlação das propriedades eletromagnéticas de materiais com o seu aspecto geométrico, por exemplo, a arquitetura das colméias absorvedoras de radiação eletromagnética, não é muito divulgada em literatura. Isto ocorre pelo fato desses dados serem considerados estratégicos e terem caráter sigiloso do ponto de vista industrial. Este trabalho tem por objetivo avaliar as propriedades eletromagnéticas de quatro arquiteturas de colméias recobertas ou não com uma tinta absorvedora de radiação eletromagnética baseada no aditivo negro de fumo, na faixa de freqüências compreendida entre 8 e 12 GHz A técnica utilizada na caracterização eletromagnética do material envolve a medida do coeficiente de reflexão em guia de onda.

Palavras-Chave: Materiais absorvedores de radiação eletromagnética, *honeycomb*, caracterização eletromagnética em guia de onda, absorvedor tipo colméia.

Área do conhecimento: Ciências Exatas e da Terra

Introdução

As estruturas do tipo colméia *(honeycomb)* são muito utilizadas em aplicações que necessitam leveza e rigidez mecânica, uma vez que esse material apresenta uma estrutura do tipo alveolar, ou seja, com grande presença de vazios, com combinação de excelente resistência mecânica com baixa massa especifica, geralmente na faixa de $3{,}0x10^{-2}$ g/cm^3 a $12{,}0x10^{-2}$ g/cm^3.[1,2]. No setor aeronáutico, as estruturas do tipo colméia são utilizadas como pisos e painéis estruturais, onde são aplicadas tensões de flexão e cisalhamento [2,3]. No setor de telecomunicações, as estruturas do tipo colméias são utilizadas em aplicações que necessitam de alta transparência eletromagnética, normalmente acima de 90% [4,5]. Na área de materiais absorvedores, painéis sanduíches compostos de colméias impregnadas com tintas contendo aditivos absorvedores de radiação eletromagnética, geralmente à base de negro de fumo, são também utilizadas na obtenção de estruturas com baixo coeficiente de reflexão [6,7]. Com a aplicação adequada desse recobrimento o material altera o seu comportamento transparente e passa a absorver radiação eletromagnética [8]. A principal razão da utilização de tais estruturas para essa aplicação é o efeito das reflexões internas múltiplas da onda eletromagnética ao incidir nas paredes recobertas dos alvéolos. Dessa maneira, a onda é forçada a interagir várias vezes com o recobrimento absorvedor, aumentando assim a eficiência de atenuação eletromagnética [1].

Os materiais absorvedores de radiação se caracterizam, principalmente, por suas propriedades de troca de energia da radiação eletromagnética por energia térmica [2], conforme mostra a Figura 1.

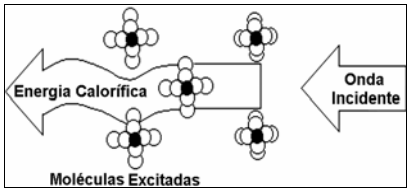

Figura 1. Transformação da energia eletromagnética em calor pelo MARE.

Os absorvedores dielétricos, em geral, são obtidos a partir da adição de pequenas partículas de carbono, grafite ou polímeros condutores em uma matriz de resina. Os absorvedores magnéticos

pela incorporação à matriz polimérica de partículas magnéticas, como as ferritas [2].

Materiais e Métodos

Foram estudados quatro tipos de colméias com estrutura hexagonal como mostra a Figura 2. As colméias foram selecionadas em função do tamanho de célula (medida da diagonal central "D", Figura 3), espessura "E" (Figura 2), e massa específica [9], relacionados na Tabela 1, para a análise na freqüência de 8-12 GHz [4].

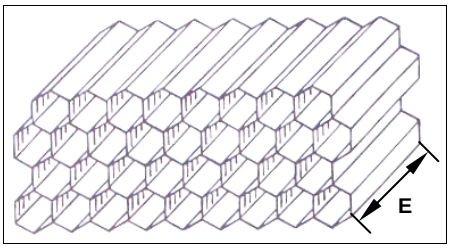

Figura 2. Colméia com célula tipo hexagonal.

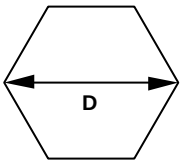

Figura 3. Diagonal central da célula tipo hexagonal.

Tabela 1. Características dos corpos de prova.

Material	Composição	Tamanho Célula (D) (mm)	Espessura (E) (mm)	Massa Específica (g/cm^3)
Colméia 1	aramida	4,80	10,0	$3{,}42 \times 10^{-2}$
Colméia 2	aramida	4,41	38,6	$5{,}56 \times 10^{-2}$
Colméia 3	celulose	4,79	25,7	$9{,}13 \times 10^{-2}$
Colméia 4	celulose	4,18	12,8	$11{,}55 \times 10^{-2}$

As colméias 1 e 2 são compostas do mesmo material, aramida, variando o tamanho da célula "D" e a espessura "E". E as colméias 3 e 4 são compostas de celulose revestida com resina fenólica e resina furfurílica, respectivamente, variando o tamanho de célula "D" e a espessura "E".

As colméias foram mergulhadas em uma mistura de matriz polimérica de epóxi e negro de fumo com concentração em massa igual a 6 %, durante o tempo de 1 minuto. Em seguida, o excesso de resina foi retirado, e as colméias foram deixadas em repouso até o término do processo de cura da matriz epóxi.

Para a caracterização do coeficiente de reflexão, foi medido o parâmetro S_{11} com um Analisador de Redes Vetorial marca HP – Hewlett Parckard modelo 8510C. Foram caracterizadas as colméias antes e depois do recobrimento. O material foi colocado em um porta-amostra retangular, de dimensão 22,65mm por 10,02mm, acoplado em uma das extremidades do guia de onda. O esquema montado para as medidas foi curto-circuitado com uma placa metálica posicionada atrás do porta-amostra, conforme mostra a Figura 4.

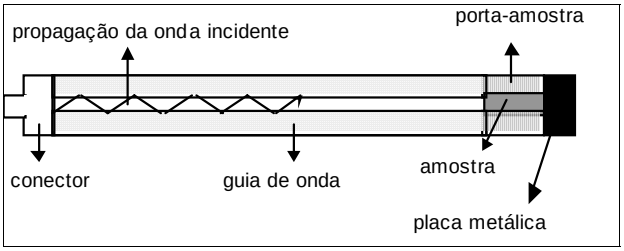

Figura 4. Esquema de medida eletromagnética.

Após a aquisição dos dados da curva, foram construídos os gráficos para análise das propriedades eletromagnéticas do material. O analisador de redes vetorial que, fornece os valores da atenuação do sinal em decibéis (dB) em função da variação da freqüência dada em gigahertz (GHz). Para a conversão dos valores de decibéis em porcentagem de atenuação do sinal foi utilizada a equação 1.

$$A(\%) = (1 - 10^{\frac{-dB}{10}}) x 100 \qquad (1)$$

Resultados e Discussão

Nas figuras de 5 a 9 são apresentados os resultados de medidas de refletividade para as 4 diferentes colméias impregnadas com a resina epóxi contendo negro de fumo.

A reta em 0 dB é o sinal de referência, isto é, uma placa metálica com reflexão total. As colméias não-recobertas não apresentam nenhuma absorção, tendo perfil de gráfico idêntico ao da referência.

O gráfico da Figura 5 mostra a curva do parâmetro S_{11} da colméia 1 na faixa de freqüências compreendida entre 8-12 GHz. Pode-se observar uma atenuação de até -12 dB em 12 GHz, o que equivale a 94% de atenuação do sinal.

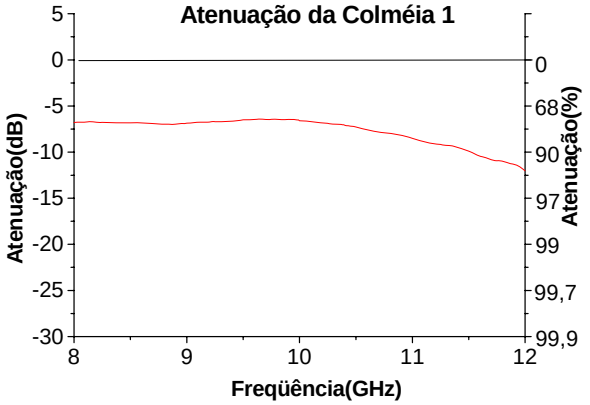

Figura 5. Gráfico de refletividade S_{11} da colméia 1.

Na colméia 2 (Figura 6), a atenuação está entre -5 dB e -12 dB, o que equivale a uma variação de 68% e 94% de atenuação da energia incidente, respectivamente, em toda a faixa de freqüências.

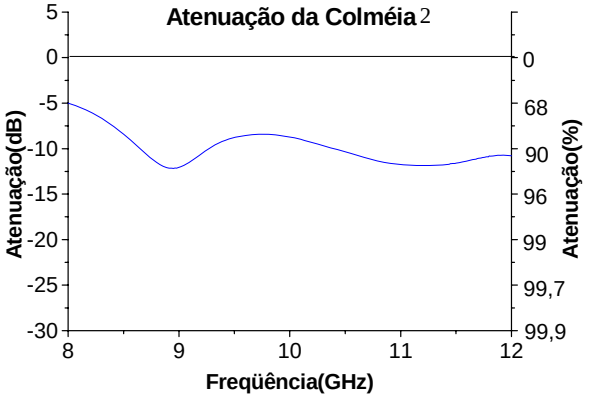

Figura 6. Gráfico de refletividade S_{11} da colméia 2.

A análise dos dados de refletividade da colméia 2 demonstra uma melhor propriedade de atenuação entre as faixas de freqüências 8,5 GHz e 9,5 GHz e 10,5 GHz e 12 GHz, em comparação com a colméia 1, constituídas do mesmo material, aramida. A colméia 2 mostra uma melhor média de atenuação do sinal incidente, demonstrando que a espessura e o tamanho dos alvéolos deste material influenciam positivamente na atenuação da radiação incidente.

Na colméia 3 (Figura 7), os valores medidos mostram uma variação da atenuação entre -7 dB (80%) e -12 dB (94%) ao longo da banda de 8 a 12 GHz.

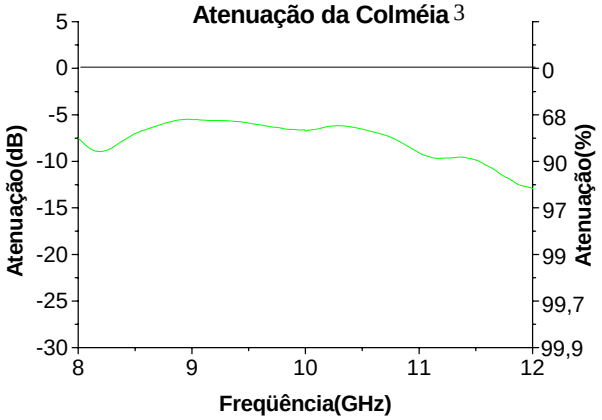

Figura 7. Gráfico de refletividade S_{11} da colméia 3.

O comportamento de absorção da colméia 3 é similar ao apresentado pela colméia 1. Essas estruturas possui tamanho de alvéolo equivalente, porém as estruturas e os materiais de que são constituídas são diferentes. Esse resultado sugere que, entre as variáveis estudadas, o tamanho dos alvéolos é a que mais influencia a eficiência de absorção das colméias recobertas com material absorvedor.

Na colméia 4 (Figura 8), a atenuação do sinal é maior na faixa de freqüências compreendida entre 9 a 10 GHz em relação às outras colméias, chegando a -15 dB, equivalente a 97% de atenuação do sinal.

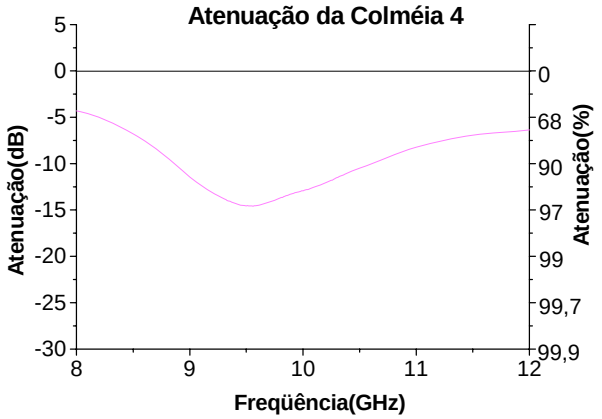

Figura 8. Gráfico de refletividade S_{11} da colméia 4.

A figura 9 apresenta um comparativo das curvas de refletividade das 4 colméias estudadas

Pode-se observar que as colméias 2 e 4, que apresentam menores tamanho de alvéolo, apresentam maior atenuação da energia incidente, porém em diferentes faixas de freqüência.

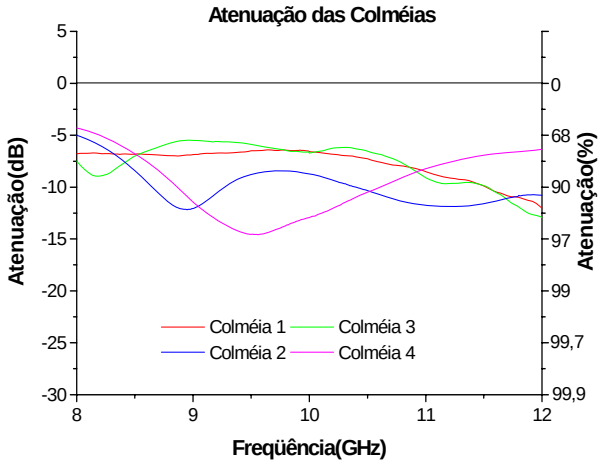

Figura 9. Gráfico de refletividade S_{11} das colméias.

Conclusão

Neste trabalho pode-se concluir que o tamanho do alvéolo, é a propriedade que mais influência o comportamento de absorção das colméias recobertas, de acordo com a avaliação dos gráficos de refletividade.

As colméias estudadas mostraram-se eficientes na absorção de radiação eletromagnética na faixa de freqüências de 8 a 12 GHz variando a atenuação de radiação eletromagnética de -5 dB (68%) a -15 dB (97%).

A intensidade de absorção e a freqüência em que este máximo ocorre, depende fortemente do tamanho da célula, entanto que, não foram observadas significativas em função da composição e da espessura das colméias estudadas.

Para essa faixa de freqüência, a colméia com menor tamanho de célula (4,18 mm), foi a que apresentou melhor desempenho como material absorvedor de radiação eletromagnética.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio recebido do Centro Técnico Aeroespacial/Comando da Aeronáutica, FAPESP (Processo No. 98/15839-4) e CNPq (Processos No. 300599/96, No. 303528/2003-6, No. 303511/2003-6 e No. 471931/2003-9).

Referências Bibliográficas

[1] CORDEN, J. Honeycomb structure. In: AMERICAN SOCIETY FOR METALS INTERNATIONAL. Composites. Metals Park (OH): ASM International, 1987. p. 721-728 (Engineered Materials Handbook, v.1)

[2] DORNHEIM, M.. "***F-117A Stealth Aircraft*** "; *Aviation Week & Space Technology*, Maio, 1990

[3] STONIER, R.A."***Stealth Aircraft and Technology from World War II to the Gulf***", Part I: History and background, *Society of Aerospace, Materials and Process Engineering - SAMPE Journal*, vol. 27, nº 4, pg. 9-17, 1991.

[4] NOHARA, E. L. Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética (8-12 GHz) Obtidos pela Combinação de Compósitos Avançados Dielétricos e Revestimento Magnéticos. 198f. Tese (Doutorado em Ciência) - Divisão de Pós-graduação do Instituto Tecnológico Aeroespacial, 2003.

[5] HIPPEL, ARTHUR R. VON. "***Dieletric Materials and Applications***", John Wiley, New York, 1954.

[6] LEE, S.M. ***"International Encyclopedia of Composites",*** vol. 6, *VHC Publishers*, New York, 1991.

[7] UFIMTSEV, P.Y. "***Comments on Diffraction Principles and Limitations of RCS Reduction Techniques***"; Proceedings of the IEEE, **84**(12) 1828-1851, dezembro, 1996.

[8] SATTAR, A.A."***Effect of magnetic order on eletrical properties of Mn-Zn ferrite single crystals***"; *Journal of Materials Science Letters*, vol. 15, pg. 1090-1092, 1996.

[9] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-271-61:** standard test method for density of core materials for structural sandwich constructions. Philadelphia, PA: ASTM, 1988. v 15.03, p.1-2.