

# Processamento de material absorvedor de radiação eletromagnética a partir da impregnação de tecido de fibra de vidro com polímero condutor polianilina

## MICROWAVE ABSORBING MATERIAL PROCESSING BY IMPREGNATION OF GLASS FABRICS WITH POLYANILINE CONDUCTING POLYMER

---

Luiza de Castro Folgueras  
Mirabel Cerqueira Rezende  
CTA / Instituto Tecnológico de Aeronáutica  
Universidade de Taubaté / Depto. Engenharia Mecânica  
CTA / Instituto de Aeronáutica e Espaço / Divisão de Materiais

### RESUMO

O conhecimento da tecnologia de processamento de materiais absorvedores de microondas, por meio da combinação de componentes, como substratos, aditivos e matrizes poliméricas, com adequados valores de constantes dielétricas e de tangentes de perda, é decisivo na aplicação final do produto, fazendo com que passem de transmissores a bons absorvedores de radiação eletromagnética. Este trabalho aborda a preparação de material absorvedor dielétrico via impregnação de substratos de tecido de fibra de vidro com polímero condutor. Para isto, a polianilina (PAni) foi sintetizada e o material absorvedor foi obtido a partir da impregnação de um substrato de tecido de fibra de vidro com uma matriz de poliuretano (PU) aditada com a PAni, que atua como o centro absorvedor da radiação. O material processado foi avaliado quanto à refletividade da radiação eletromagnética na faixa de 8 a 12 GHz e por análises de microscopia eletrônica de varredura. Os resultados mostraram ser possível usar tecido de fibra de vidro como um substrato no processamento de material absorvedor flexível, com atenuação da radiação incidente em aproximadamente 98%. Verificou-se, também, a existência de uma relação entre a característica de material condutor impregnado e os diferentes valores de refletividade.

### PALAVRAS CHAVE

Material absorvedor de radiação eletromagnética,

polímeros condutores, material absorvedor dielétrico, tecidos condutores, microondas, polianilina.

### ABSTRACT

The technology knowledge of radar absorbing material processing, involving the combination of components as substrates, fillers and polymeric matrices, with adequate values of dielectric constants and loss tangent, is decisive in the final application of a product. The adequate correlation allows that the processed material changes from transmitters to microwave absorbers. This work aims to establish the preparation of dielectric absorbing material by using glass fabric impregnation with conducting polymer. For this, the conducting polymer polyaniline (PAni) was synthesized. Using glass fabric as substrate of PAni-polyurethane (PU) mixture the absorbing material was processed. The behavior of this absorber was evaluated correlating its reflectivity values, at the frequency range of 8 - 12 GHz, with the scanning electron microscopy observations. The results showed that the glass fabric is adequate to process flexible absorbers which show radiation attenuation of nearly 98%. It was also verified a relation between the characteristics of the conducting material impregnated in the substrate and the different values of the obtained reflectivity.

## KEYWORDS

Radar absorbing materials. Conducting polymers. Dielectric absorber material. Conducting fabrics. Microwave. Polyaniline.

## INTRODUÇÃO

Em decorrência dos avanços tecnológicos, o uso da radiação eletromagnética na faixa de microondas tem se tornado intenso nos últimos anos, principalmente na área de telecomunicações, podendo-se citar as inovações nos setores de telefonia celular, antenas de transmissão e recepção e sistemas de comunicação e de segurança empregados em aeronaves, navios e automotivos. Como consequência, o nível de ruído dessa radiação no meio ambiente tem aumentado de maneira contínua.

Com o objetivo de eliminar ou atenuar os níveis de radiação eletromagnética em diferentes ambientes tem ocorrido uma grande expansão no desenvolvimento de materiais, que possuam a característica de absorver a radiação incidente transformando-a, principalmente, em energia térmica [FOLGUERAS, FAEZ, REZENDE, 2003; FOLGUERAS, 2005]. Os avanços tecnológicos que os materiais absorvedores de radiação eletromagnética podem proporcionar às áreas de eletroeletrônica, espacial e aeronáutica, têm impulsionado a realização de vários trabalhos de pesquisa e desenvolvimento na obtenção desses materiais [REZENDE, MARTIN, SILVA, 2000].

Os compósitos poliméricos têm atraído muita atenção de inúmeros grupos de pesquisa, tanto pela importância científica em se entender os novos fenômenos desses materiais mistos, como pelo potencial em aplicações tecnológicas. O uso de material têxtil como substrato/reforço na formação de compósitos, como por exemplo, fibras de vidro, carbono, aramida, entre outras, já é há algum tempo conhecido na literatura [KOSTIKOV, 1995; LEWIN, PEARCE, 1998]. A partir do conhecimento dos métodos de preparação e das propriedades de polímeros condutores, há interesse na preparação de compósitos para serem utilizados como absorvedores de radiação, onde um dos componentes seja um polímero condutor, como a polianilina, aditado em uma matriz de polímero convencional de uso geral.

Os tecidos de fibra de vidro são produzidos em larga escala mundial, devido à sua ampla possibilidade de aplicação em várias áreas, como na indústria de telecomunicações, química, náutica, médica, aeroná-

utica e espacial. A grande utilização dos produtos derivados das fibras de vidro é devida às suas excelentes propriedades, como por exemplo: bons isolantes acústico e térmico, não inflamável, alta resistência à corrosão, baixa massa específica e boas propriedades dielétricas [KOSTIKOV, 1995].

A mais efetiva aplicação das fibras de vidro relaciona-se com a possibilidade de se fabricar materiais compósitos com os polímeros, possuindo ótima adesão entre as superfícies heterogêneas que estão em relativo contato [HULL, 1995; KOSTIKOV, 1995]. O tipo de adesão entre a fibra de vidro e a matriz polimérica pode ser atribuído ao mecanismo de adesão mecânica, devido à possibilidade de existência de poros e microtrincas na superfície e, ainda, ao mecanismo de adesão por interações químicas que podem existir entre a superfície da fibra com a molécula do polímero. A partir de estudos experimentais realizados por Kostikov [KOSTIKOV, 1995], é mostrado que existe uma forte relação entre as propriedades de adesão nas fibras de vidro e sua composição química. Em fibras que contêm os óxidos de silício e alumínio na composição, as propriedades adesivas das fibras aumentam com os teores desses óxidos na formulação do vidro.

Na área de microondas, os compósitos com fibra de vidro são muito utilizados em estruturas protetoras de sistemas de antena de transmissão de dados de radares, que são os radomes. Para isto, devem possuir transparência na frequência de operação, sem alterar o diagrama de irradiação da antena [LEE, 1991]. A característica de transparência ao radar é atribuída ao compósito de fibra de vidro, devido ao seu baixo valor de tangente de perda dielétrica [LEE, 1991]. Outros compósitos que apresentam a característica de transparência ao radar são os preparados a partir das fibras de aramida, conhecidas comercialmente como kevlar (Dupont). Comparando-se os compósitos constituídos com fibra de aramida com os obtidos com fibra de vidro, os primeiros apresentam valores de transparência significativamente maiores, mas economicamente são menos atrativos [NOHARA, MARTIN, REZENDE., 2000].

Apesar de serem transparentes ao radar os materiais derivados de fibras de vidro, quando combinados adequadamente com materiais dielétricos ou magnéticos, podem absorver as microondas do radar com eficiência, passando a comportarem-se como absorvedores de radiação eletromagnética na faixa de microondas [FOLGUERAS, 2005].

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de material absorvedor de radiação eletromagnética na faixa de microondas, com espessura reduzida, baixa massa específica e flexibilidade; promovendo, então, novos meios de sua utilização, devido às facilidades de transporte e de manuseio deste material. Para tal, tecidos de fibra de vidro foram impregnados com uma matriz de poliuretano aditada com o polímero condutor polianilina e avaliados quanto ao aspecto morfológico por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e quanto à sua característica eletromagnética de absorção de microondas na faixa de 8 a 12 GHz. Visando avaliar a influência da espessura do material processado nas medidas de refletividade da radiação eletromagnética, estruturas multicamadas foram analisadas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O polímero condutor polianilina foi sintetizado quimicamente em escala laboratorial por meio da oxidação da anilina, pelo agente oxidante persulfato de amônio, em meio ácido, com o ácido dodecilbenzeno sulfônico (DBSA, sigla do inglês *dodecylbenzenesulfonic acid*), obtendo-se o polímero condutor PAni-DBSA. A polianilina sintetizada foi adicionada na forma dopada em uma matriz de resina poliuretânica (isocianato tipo comercial) disponível comercialmente, na concentração de 15 % m/m e homogeneizada por agitação mecânica.

Como substrato na impregnação foi utilizado tecido de fibra de vidro como recebido (fornecido pela Hexcel Composites), apresentando as seguintes características: estilo 2/1 *Twill Weave*, gramatura 330 g/m<sup>2</sup> e espessura 0,4 mm (HEXCEL, 2004).

A mistura preparada foi homogeneizada mecanicamente e aplicada nos substratos de fibra de vidro e seca ao ar, visando obter uma boa dispersão da polianilina no poliuretano. A técnica de aplicação da mistura PU/PAni-DBSA nos tecidos foi a de pintura convencional, isto é, com o auxílio de pincel. Este procedimento permitiu a formação do compósito tecido de fibra de vidro/PAni. Após a impregnação foram preparadas estruturas tipo sanduíche pelo empilhamento de duas e três camadas do tecido impregnado.

Os esquemas usados na montagem das estruturas sanduíche são apresentados na Fig. 1, sendo que o tecido é representado pelas camadas cinzas e a PAni pela camada verde, formando empilhamentos de camadas de tecidos com diferentes arranjos.

O material preparado foi avaliado por medidas de refletividade da energia da onda refletida utilizando a técnica de guia de ondas. O método adotado utilizou um guia de ondas para a faixa de frequências de 8 a 12 GHz, o qual foi acoplado a um Analisador de Redes Vetorial da Agilent 8510C, um Gerador de Frequências Sintetizado da Hewlett Packard 8340B (10 MHz - 26,56 GHz) e a um acessório para teste dos parâmetros S da Hewlett Packard 8510A (45 MHz - 26,56 GHz). A metodologia de medidas foi baseada na literatura [BARTON, 1988; LAVERGHETTA, 1976; LEE, 1991; MIACCI, 2002].

A análise morfológica do material processado foi realizada pelo uso de um microscópio eletrônico de varredura da marca LEO, modelo 435 Vpi, sem a necessidade de preparação especial da amostra, que apresenta condutividade elétrica necessária para a análise.

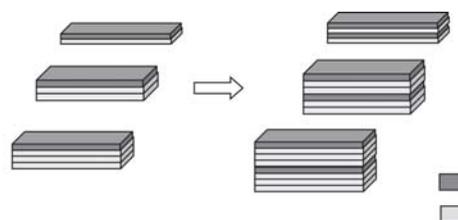


Figura 1 - Estruturas sanduíches montadas para avaliação eletromagnética do material processado.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a impregnação do tecido de fibra de vidro pela mistura PU/PAni, os substratos foram avaliados quanto à morfologia por microscopia eletrônica de varredura, e as imagens da camada de PU/PAni depositada sobre o substrato são apresentadas na Fig. 2. É observado na Fig 2(a) o aspecto da superfície da camada impregnada no substrato de fibra de vidro, com os grânulos do pó da polianilina dispersos na matriz poliuretânica, formando ilhas de condução nas regiões ricas de polímero condutor. Na seção transversal do material processado (Figura 2(b-c)) pode-se observar que os filamentos do tecido de fibra de vidro estão bem envoltos pela mistura depositada, devido ao bom molhamento da mistura no substrato, proporcionando uma boa ancoragem do polímero na parte mais interna do tecido. No entanto, a Fig 2(d) mostra o aspecto geral do material processado, onde observa-se que existem áreas, mais externas, onde não houve uma boa impregnação da mistura PU/PAni nos filamentos, evidenciando que o processo utilizado não favorece

uma impregnação uniforme.

As imagens obtidas por MEV mostram que existe um contato entre as partículas de polianilina, estabelecido pela matriz poliuretânica, favorecendo a for-

mação de caminhos de condução no material. Este fato é confirmado pela absorção da energia eletromagnética incidente pelos materiais processados, como mostram as medidas de refletividade.

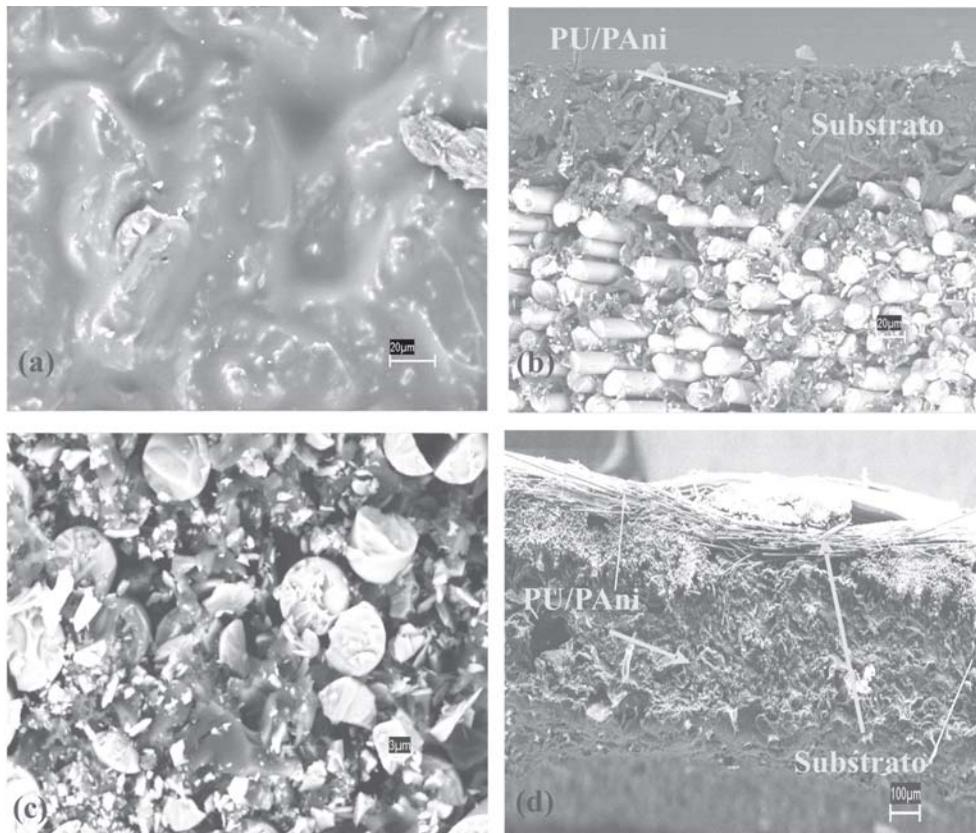


Figura 2 – MEV do substrato tipo tecido de fibra de vidro, impregnado com PU/PAni: (a) aspecto da região impregnada, face superior (550x), (b) seção transversal do material processado (350x), (c) detalhe da região impregnada (1200x), (d) aspecto geral da seção transversal (70x).

Para avaliar a influência da espessura das estruturas sanduíches preparadas (Tabela I), o material foi caracterizado por medidas de refletividade na faixa de microondas (8-12 GHz). Em estudos realizados por Nohara [NOHARA, MARTIN, REZENDE, 2000] verifica-se que compósitos constituídos com fibra de vidro/epóxi são materiais parcialmente transparentes na faixa de microondas, e que a espessura do compósito influencia no coeficiente de reflexão, para compósitos com espessuras variando entre 2 e 4 mm. Nesse estudo, tem-se que o valor médio do coeficiente de reflexão para esses compósitos é de 3 dB. Quando uma onda incide na superfície de um material que não seja totalmente refletor, parte da onda é transmitida pelo substrato e parte pode ser absorvida, reduzindo o número de reflexões do sinal na estrutura do material.

Tabela I - Medidas das espessuras dos substratos processados.

Número de camadas de tecido	Estrutura I (mm)	Estrutura II (mm)
1	~ 0,84	~ 1,90
2	~ 1,30	~ 2,80
3	~ 2,00	~ 3,50

As medidas de refletividade dos materiais processados estão apresentadas na Fig. 3, onde observa-se a influência das camadas do compósito (espessura) na atenuação da radiação.

O material de referência utilizado nas medidas de refletividade (linha preta) consiste de uma placa de alumínio, sendo a curva obtida considerada com 100% de reflexão da energia incidente (0% de atenuação da radiação).

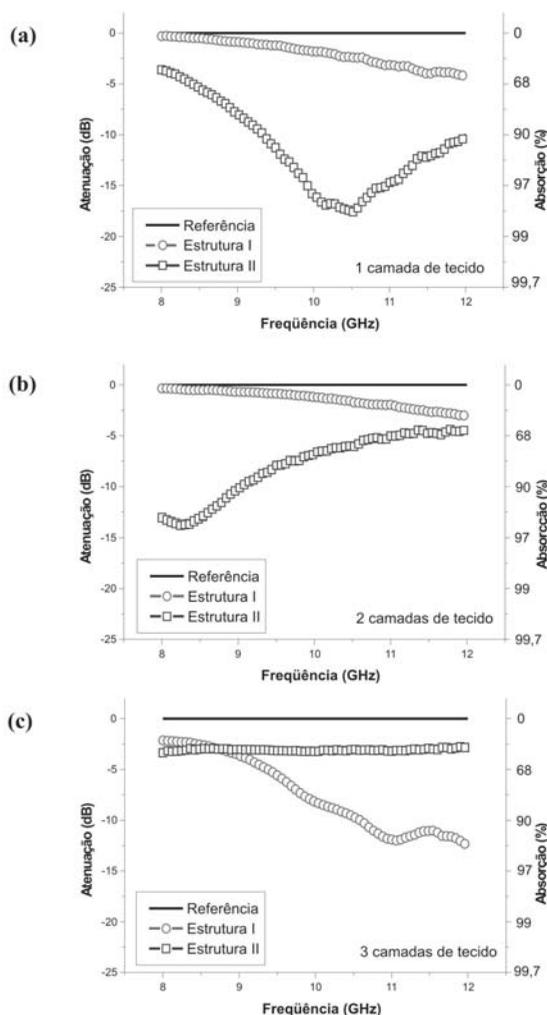


Figura 3 - Curvas de atenuação da radiação eletromagnética na faixa de microondas (8-12 GHz) dos materiais processados com tecido de fibra de vidro e PU/PANI: (a) 01 camada de substrato; (b) 02 camadas de substrato e (c) 03 camadas de substrato.

Na Fig. 3(a) são apresentadas as curvas de refletividade obtidas para o material processado com uma camada de tecido de fibra de vidro, a estrutura I, montada com um e dois volumes do compósito. Observa-se que houve um acréscimo na absorção da radiação, quando o mesmo material foi obtido com a espessura maior, atingindo valores de atenuação de, aproximadamente, 98% da radiação incidente, entre 10, 0 e 10,5 GHz. A Fig. 3(b) mostra os valores de absorção da radiação incidente para a estrutura montada com duas camadas de tecido, onde verifica-se que ocorre um aumento na absorção da radiação, com o aumento da espessura do material. Neste caso, determina-se valores de atenuação máxima de 14 dB (96%) para a frequência de 8,3 GHz.

A Figura 3(c) mostra a avaliação dos materiais obtidos com três camadas de tecido e preparados em estruturas com um e dois volumes (estruturas I e II - Fig. 1). Neste caso, o aumento da espessura do material apresenta um comportamento contrário ao observado para as estruturas montadas com uma e duas camadas de tecido. No caso das três camadas, a estrutura I apresenta absorção máxima da radiação próxima de 13 dB (~95%) e a estrutura II (com um maior número de camadas de tecido de fibra de vidro) mostra uma redução da absorção da energia, de forma que o valor máximo é de 3 dB (~50% de absorção da radiação incidente). Verifica-se que para este compósito estudado, o acréscimo do número de camadas de tecido de fibra de vidro altera o comportamento do material, fazendo com que este apresente um menor desempenho na atenuação da radiação eletromagnética incidente. Este comportamento é atribuído ao fato da alteração de espessura do compósito multicamadas não atender ao parâmetro  $l/\lambda$  (efeito de um quarto do comprimento de onda eletromagnética), ou seja, o aumento da espessura não favorece o cancelamento de fases da onda eletromagnética incidente [HIPPEL, 1954; BALANIS, 1997].

## CONCLUSÕES

A abordagem feita neste trabalho mostra que o processamento de materiais absorvedores de radiação eletromagnética flexíveis, pelo uso de tecido de fibra de vidro, é viável.

A mistura PU/PANI contendo 15% m/m de PANi apresenta bons resultados de absorção da radiação, com atenuação máxima para os compósitos processados de cerca de 98%. Os grânulos de polianilina envolvidos pela matriz de poliuretano proporcionam a formação de caminhos de condução, permitindo a perda da radiação incidente por condução elétrica.

Os resultados de refletividade também mostram que o processamento dos absorvedores multicamadas têm influência da espessura, devido ao fenômeno físico do efeito de um quarto do comprimento de onda. Neste caso, a adequada combinação das camadas é um parâmetro crítico no sucesso do processamento do absorvedor.

O material processado apresenta, também, características adequadas ao manuseio, podendo ser aplicado em locais de difícil acesso e em artefatos de formato complexo, devido à sua baixa massa específica e bons resultados de atenuação de radiação na faixa de 8 a 12 GHz.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao CNPq (Proc. n.º. 303528/2003-6 e 151929/2005-0) e ao Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial pelo apoio que vem recebendo.

## REFERÊNCIAS

BALANIS, C. A. *Advanced Engineering Electromagnetics*. New York, NY: John Wiley and Sons, 1989.

BARTON, D. K. *Modern Radar System Analysis*. London: Artech House, 1988.

FOLGUERAS, L. C. *Obtenção e caracterização de materiais absorvedores de microondas flexíveis impregnados com polianilina*. 2005. Tese (Doutorado) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos.

FOLGUERAS L. C.; FAEZ, R.; REZENDE, M. C. *Waveguide characterization of flexible absorbing material*. In: International Microwave and Optoelectronics Conference: IEEE MTT-S/ IMOC 2003, Foz do Iguaçu, Brazil, vol. 2, 741-745.

HEXCEL COMPOSITES. Disponível em: <<http://www.hexcel.com>>. Acesso em: março, 2004.

HIPPEL, A. *Dielectric Materials and Applications*. London: Artech House, 1954.

HULL, D. *An introduction to composite materials*. [S.l.]: Cambridge University Press. 1981.

KOSTIKOV, V.I. *Fibre Science and Technology*. [S.l.]: Chapman & Hall, 1995. (Soviet Advanced Composites Technology Series).

LAVERGHETTA T. S. *Microwave Measurements and Techniques*. Dedham, Massachusetts: Artech House, 1976.

LEE, S. M. *International Encyclopedia of Composites*. New York: VCH Publishers, 1991. v.4

LEWIN, M.; PEARCE, E. M. *Handbook of fiber chemistry*. 2.ed. [S.l.]: Marcel Dekker, 1998.

MIACCI, M. A. S. *Determinação experimental do espalhamento monoestático de microondas por alvos de geometria simples*. 2002. Tese (Mestrado) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos.

NOHARA, E. L.; MARTIN I. M.; REZENDE, M. C. *Medidas de refletividade e transparência ao radar na faixa de 8-12 Ghz de compósitos avançados constituídos de fibras de carbono, kevlar e vidro*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, São Pedro, 2000. Anais... São Pedro, 2000. 9p.

REZENDE, M.C.; MARTIN, I.M.; SILVA, F.S. 2000. *Materiais absorvedores de radiação eletromagnética, Spectrum*, v.2.