

# MATERIAL ABSORVEDOR DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA UTILIZANDO CARBONO POROSO SUSTENTÁVEL E NANOTUBO DE CARBONO

L.I. Medeiros<sup>1,2\*</sup>; N.C.F.L. Medeiros<sup>1,2</sup>; G.F.B. Lenz e Silva<sup>3</sup>; G.A. Amaral-Labat<sup>1</sup>; A.F.N. Boss<sup>3</sup>; M.R. Baldan<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – PG-EET; <sup>2</sup> Universidade Estadual de Santa Cruz – DCET; <sup>3</sup> Universidade de São Paulo – Escola Politécnica  
\*iimedeiros@uesc.br

## Resumo

O licor negro, um subproduto da indústria de celulose, foi utilizado para produzir uma espuma de carbono de origem sustentável e baixo custo, como alternativa na produção de materiais absorvedores de radiação eletromagnética. As propriedades de absorção de micro-ondas da espuma foram avaliadas nas frequências entre 12,4 e 18 GHz. A espuma foi separada em: partículas  $\leq 105 \mu\text{m}$  e partículas entre 105 e 500  $\mu\text{m}$ . Foram analisadas amostras com espuma pura na concentração 15% em massa dispersa em matriz de silicone, e espuma na mesma concentração com adição de 0,1 e 0,2% em massa de nanotubo de carbono. Os resultados revelam absorção superior a 90% para espuma com partículas  $>105 \mu\text{m}$ , enquanto o nanotubo participou na sintonização da faixa de frequência da resposta de absorção para todas as amostras.

## Introdução

Micro-ondas são muito eficientes para transmissão de informação e vem sendo amplamente exploradas nas diversas tecnologias de comunicação. No entanto, seu uso em larga escala traz o problema de interferência eletromagnética entre os sistemas e dispositivos que utilizam micro-ondas [1]. Neste sentido, materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MAREs), são utilizados para mitigar os efeitos nocivos da radiação eletromagnética. Um aspecto muito importante no desenvolvimento de novos materiais é seu impacto ambiental, seja por utilizar fontes esgotáveis de recursos naturais, por gerar grande volume de resíduos ou produzir resíduos de difícil degradação [2].

O licor negro é resíduo da indústria de papel e celulose. Estimase anualmente uma produção de cerca de 130 milhões de toneladas de licor negro no mundo. Neste trabalho, o licor negro foi utilizado na produção de uma resina sólida que depois de carbonizada dá origem a uma espuma de carbono sustentável, de peso leve, baixo custo de produção, dando origem a um precursor para MARE.

## Materiais e Métodos

A resina de licor negro é obtida misturando 100 g de licor negro, 15 g de resorcinol em flocos e 44 g de formaldeído. A resina é seca ao ar livre em uma capela, após secagem é carbonizada a 900°C em atmosfera de Nitrogênio por 2 horas. A espuma carbonizada é triturada, classificada por tamanho de grão  $\phi \leq 105 \mu\text{m}$  e  $>105$  e  $\leq 500 \mu\text{m}$ . O composto absorvedor é obtido com a mistura de borracha de silicone e 15% em massa da espuma de carbono, a mistura é envasada em molde retangular com dimensão específica para o guia de onda da banda  $K_u$ . Nanotubos de carbono (NTC) são adicionados na proporção 0,1 e 0,2% em massa para aprimorar a atenuação do composto. A capacidade de atenuação das micro-ondas de cada amostra foi medida no analisador de redes vetorial (*Vector Network Analyze* - VNA), fabricado por Keysight - modelo (N5232A) usando um guia de ondas retangular modelo (P11644A) referente a banda  $K_u$ , operando na faixa de frequência de 12,4 a 18GHz.

## Resultados e Discussões

A figura 1 revela que tanto as partículas  $<105 \mu\text{m}$  quanto as  $>105 \mu\text{m}$  apresentam porosidade. Os poros surgem durante o processo de carbonização, onde átomos constituintes na cadeia polimérica da resina são volatilizados, podendo gerar um aumento da área superficial da espuma de carbono.

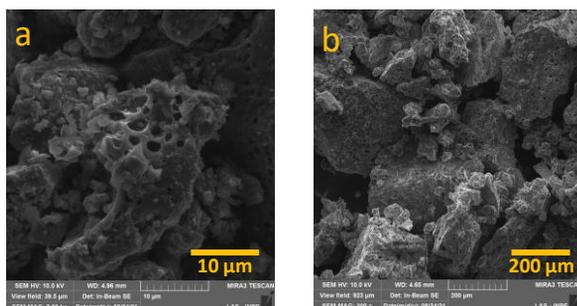


Fig. 1: MEV das partículas (a)  $< 105 \mu\text{m}$ , (b)  $> 105$  e  $< 500 \mu\text{m}$ .

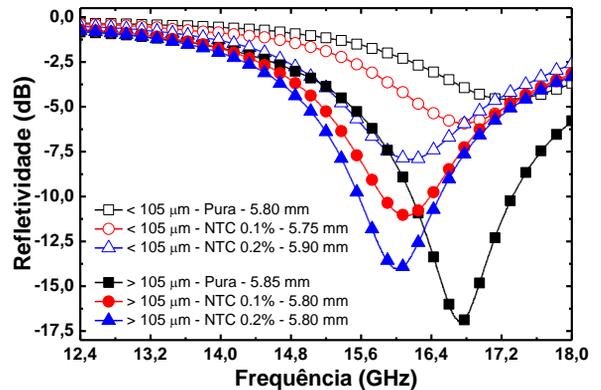


Fig. 2: Refletividade dos compostos.

As espessuras das amostras variaram entre 5,75 mm e 5,90 mm, no processo de cura a borracha de silicone sofre contração causando variação na espessura final das amostras.

Na figura 2 são apresentadas as respostas de atenuação eletromagnéticas de micro-ondas na banda  $K_u$ . As amostras produzidas com partículas  $<105 \mu\text{m}$  apresentaram refletividade maior que -8 dB, a melhor resposta foi observada na amostra contendo 0,2 % de NTC com -7,95 dB em 16,18 GHz apresentando atenuação menor que 90%. As amostras feitas com partículas  $>105 \mu\text{m}$  apresentaram atenuações menores que -10 dB, reduzindo em mais de 90% a radiação eletromagnética incidente. O melhor resultado obtido com essas partículas foi com a amostra de espuma pura alcançando -17 dB em 16,7 GHz aproximadamente 95% de atenuação. A adição do NTC promove a sintonização da faixa de frequência deslocando os picos de atenuação para região de frequências mais baixas em todas as amostras. Nas amostras de partículas  $<105 \mu\text{m}$  o deslocamento foi de 17,18 GHz na espuma pura para 16,16 GHz na amostra com 0,2 % de NTC. Já nos testes realizados com partículas  $>105 \mu\text{m}$  temos 16,73 GHz na espuma pura deslocando para 16 GHz na amostra com 0,2 % de NTC.

## Conclusão

A síntese aplicada no estudo viabilizou a produção de material carbonoso de forma simples e sustentável, pois utiliza resíduo industrial na sua forma integral, ou seja, sem gerar um novo subproduto, além disso apresenta baixo custo de produção. O uso do NTC permite a construção de compostos atenuadores, servindo como sintonizador da frequência onde ocorre pico de atenuação. As propriedades eletromagnéticas da espuma de carbono precisam ser mais investigadas, assim será possível determinar quais aditivos devem ser incorporados ao material para aprimorar sua capacidade de atenuação da radiação eletromagnética.

## Referências

- [1] J. Wang et al., "Preparation of CTCNFs/Co 9 S 8 hybrid nanofibers with enhanced microwave absorption performance", *Nanotechnology*, vol. 31, no 22, p. 225605, maio 2020.
- [2] Y. Wang et al., "In Situ Formation of Co9S8 Nanoclusters in Sulfur-Doped Carbon Foam as a Sustainable and High-Rate Sodium-Ion Anode", *ACS Appl. Mater. Interfaces*, p. 1–11, 2019.