



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DIREÇÃO E NÚMERO DE CAMADAS DE
FIBRA DE CARBONO NAS PROPRIEDADES DE PERMISSIVIDADE
ELÉTRICA E PERMABILIDADE MAGNÉTICA EM COMPÓSITOS A BASE
DE RESINA ESTRUTURAL EPOXÍDICA VISANDO APLICAÇÕES EM
RADONES**

Bárbara Alves Nascimento Marques

Relatório Final de Iniciação científica,
orientado pelo Dr. Maurício Ribeiro Baldan
e Me. Bráulio Haruo Kondo Lopes

INPE

São José dos Campos

2020

RESUMO

A crescente expansão dos setores tecnológicos utilizando radiações eletromagnéticas, principalmente com a finalidade de transmitir dados a longas distâncias, faz com que setores aeroespacial e aeronáutico aumentem o número de trabalhos científicos em compatibilidade eletromagnética. A transmissão de dados por sua vez, necessita operar da forma eficiente e sem perdas. Portanto, é necessário evitar a interferência eletromagnética (IE), que é causada pela exposição de dispositivos eletrônicos a sinais espúrios, podendo resultar em problemas como mal funcionamento e até comprometimento da vida dos dispositivos. Afim de reduzir e solucionar esse problema, os trabalhos desenvolvidos nessa área se baseiam no princípio de blindagem eletromagnética, utilizando materiais capazes de barrar determinadas radiações e reduzir seus efeitos negativos, utilizando os compósitos a base de fibras de carbono. A Fibra de carbono é utilizada na área aeronáutica para reforços mecânicos, devido a sua alta resistência mecânica e baixo peso, além de apresentar características de um bom condutor elétrico. Com isso, o presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de compósitos a base de fibras de carbonodispostas em camadas e em diferentes orientações. O número de camadas de fibras de carbono serão determinadas em função das espessuras recomendadas em radomes (1,0 mm, 1,5 mm e 2,0 mm). Os compósitos terão como matriz a resina epoxídica dopada, esta é muito utilizada em compósitos estruturais devido a sua alta estabilidade química, alta resistência mecânica e boa processabilidade. O estudo será realizado ao longo da faixa de frequência referente a banda X (8,2-12,4 GHz), utilizando um guia de onda retangular acoplado a um analisador de rede vetorial para caracterização do potencial de blindagem eletromagnética pelos fenômenos de absorção, reflexão e blindagem total.

Palavras-chave: interferência eletromagnética, blindagem eletromagnética, fibra de carbono.

ABSTRACT

The growing expansion of technological sectors using electromagnetic radiation, mainly with an increase in data over long distances, causes aerospace and aeronautics to increase the number of scientific papers on electromagnetic compatibility. The data transmission, in turn, works in the most efficient way and without possible losses. Therefore, it is necessary to avoid electromagnetic interference (IE), which is caused by the exposure of electronic devices to spurious signals, which can result in problems such as malfunction and even compromising the life of the devices. In order to reduce and solve this problem, the work developed in this area is based on the principle of electromagnetic shielding, using materials capable of spreading certain radiation and reducing its negative effects, using carbon fiber-based composites only for mechanical reinforcements due to the high mechanical resistance and low weight, in addition to its already emphasized character of good electrical conductor, and has been standing out in applications involving electromagnetic protection. Thus, the present work aims to develop composites based on carbon fibers processed with different layers and in different orientations. The number of carbon fiber layers determined according to the final thickness Reach recommended thicknesses in radomes (1.0 mm, 1.5 mm and 2.0 mm). Composites must use a doped epoxy resin as a matrix, this is widely used in composites due to its high chemical stability, high mechanical resistance and good processability. The study will be carried out along the frequency band referring to the X band (8.2-12.4 GHz), using a rectangular waveguide coupled to a vector network analyzer to characterize the electromagnetic shielding potential by the absorption elements, reflection and total shielding.

Keywords: electromagnetic interference, electromagnetic shielding, carbon fiber.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estruturas alotrópicas do carbono.....	9
Figura 2 – Estrutura da resina epóxi.....	12
Figura 3 – Estruturas do Álcool furfurílico.	12
Figura 4 – Estrutura da Resina Fenólica.	13
Figura 5 – Fotografia de um estrutura de fibra de carbono dobrada.....	13
Figura 6 – Etapa do processamento das fibras de carbono com resina polimerica.....	14
Figura 7 – Fluxograma do algoritmo NRW.....	14
Figura 8 – Analisador de rede vetorial.....	15

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1. Objetivos gerais.....	8
1.2. Objetivos específicos.....	8
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
2.1. Materiais.....	9
3. METODOLOGIA.....	13
3.1. Materiais utilizados.....	13
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	15
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16

1. INTRODUÇÃO

Na maioria das áreas em que a redução de peso é crucial, os compósitos reforçados com fibra de carbono são uma excelente opção. A fibra de carbono (FC), além de seu papel estrutural, também pode ser aplicada a várias funções secundárias, com base em suas propriedades como baixo peso, condutividade, entre outras (FORINTOS, 2019). As fibras de carbono são altamente desejáveis para compósitos de alto desempenho nas áreas aeroespacial, de tráfego e outras indústrias. As FCs geralmente exibem desempenho superior, incluindo alta resistência, módulo alto e baixa densidade (LIU, 2020).

A fibra de carbono é um material que ganhou relevância para solucionar diversas divergências de propriedades, uma vez que possui alta resistência a tração, baixa massa específica e módulo de elasticidade alto. A invenção das fibras de carbono pode ser rastreada em 1880, Thomas Edison usava algodão, linho e outras fibras para fabricar filamentos de carbono como fio para lâmpada, mas devido à sua grande fragilidade, oxidação fácil e brilho muito baixo, finalmente ele usou filamento de tungstênio como fio (WANG, 2011). Mas apenas em 1960 a fibra de carbono começou a ser vista como uma boa aposta para a indústria (MONTANARI, 2016).

A relação empuxo / peso é uma métrica de desempenho importante para motores a turbofan. Um aumento pode ser alcançado com a substituição de componentes metálicos por componentes de polímero reforçado com fibra de carbono (CFRP), com maior rigidez e resistência específica. Os componentes existentes do CFRP são principalmente as pás do ventilador e a carcaça do ventilador (WILHELMSSON, 2020). O interesse por compósitos reforçados com fibras de carbono, no setor aeronáutico, deve-se, principalmente, ao constante desafio que esta indústria possui na obtenção de componentes que exibam os maiores valores de resistência mecânica e de rigidez específicas entre os materiais disponíveis. A substituição do alumínio por compósitos poliméricos estruturais, por exemplo, permite uma redução em peso de 20 a 30%, além de 25% na redução do custo final de obtenção das peças (REZENDE, 2000).

Na indústria automobilística também se recorre ao uso da fibra de carbono e seus compósitos, visando um aumento na eficiência e desempenho do automóvel (AHMADIAN, 2019) (HUANG, 2019). A crescente demanda de fabricação de veículos leves que atendam aos requisitos de economia de combustível e regulamentos segurança

promoveu a aplicação de polímeros reforçados com fibras de carbono (carbon fiber reinforced polymers – CFRPs) na indústria automotiva (AHMADIAN, 2019), motores híbridos e componentes leves. Por exemplo, a redução do peso da roda, empregando os compósitos é uma das questões desafiadoras (HUANG, 2019). Outras áreas também buscam a eficiência dos compósitos de fibra de carbono, como a construção civil, já que sua alta resistência é muito útil na parte estrutural. Mas o alto custo da produção de fibras para essa finalidade ainda representa uma barreira a sua aplicação na construção civil (MONTANARI, 2016).

A dificuldade em aperfeiçoar dispositivos não se restringe apenas a escolha de materiais para sua fabricação. Deve-se levar em consideração o desempenho do equipamento, mesmo em situações pouco favoráveis, e dessa forma, encontrar formas de minimizar impactos negativos sobre os aparelhos. Um frequente desafio é a interferência eletromagnética (EMI – eletromagnetic interferences), causada em aparelhos eletrônicos por fontes externas de radiação eletromagnética. Esses dispositivos são negativamente afetados por essa radiação, podendo sofrer perdas em suas performances e vida útil (TUGIRUMUBANO, 2019) (MEI, 2016) (THOMASSIN, 2013). Materiais que oferecem blindagem a interferência eletromagnética (EMI) na faixa de frequências de 8 a 12 GHz foram estudados para aplicações militares aeroespaciais e aeronáuticos, em que funcionalidade e manutenção termomecânica são pré-requisitos complementares (MEI, 2016).

Normalmente, a radiação eletromagnética é absorvida por materiais do tipo ferrosos, metais magnéticos, polímeros condutores, entre outros, que não podem atender à demanda de absorção devido à alta densidade e largura de banda estreita (WANG, 2018) (CHUNG, 2001). Em comparação com os materiais tradicionais de blindagem EMI baseados em metal, os compósitos de blindagem EMI de polímero são um grande potencial devido às vantagens de leveza, resistência à corrosão e excelente processabilidade (WANG, 2019). Recentemente, materiais à base de carbono, como a fibra de carbono, ganharam popularidade por suas propriedades únicas, que também incluem a capacidade de blindagem eletromagnética. Comparada aos materiais metálicos pesados e facilmente corrosivos, os materiais à base de carbono, especialmente as folhas de grafeno e os nano tubo de carbono, são mais promissores para aplicações a blindagem

eletromagnética. Isso é devido às suas altas proporções de aspecto, excelente condutividade elétrica, térmica e mecânica, e sua capacidade favorável de serem montadas em filmes ou arquiteturas macroscópicas (LIU, 2017).

1.1 Objetivos gerais

Este projeto possui como objetivo o desenvolvimento de compósitos a base de fibras de carbono capazes de desempenhar um alto potencial de blindagem eletromagnética na faixa de frequência da banda X, utilizadas no setor aeroespacial, e contribuir para o desenvolvimento desta tecnologia no Brasil.

1.2 Objetivos específicos

Determinar as melhores condições de processamento, como número de camadas, quantidade de catalisador da resina, e melhor posição em ângulo das camadas de fibras de carbono.

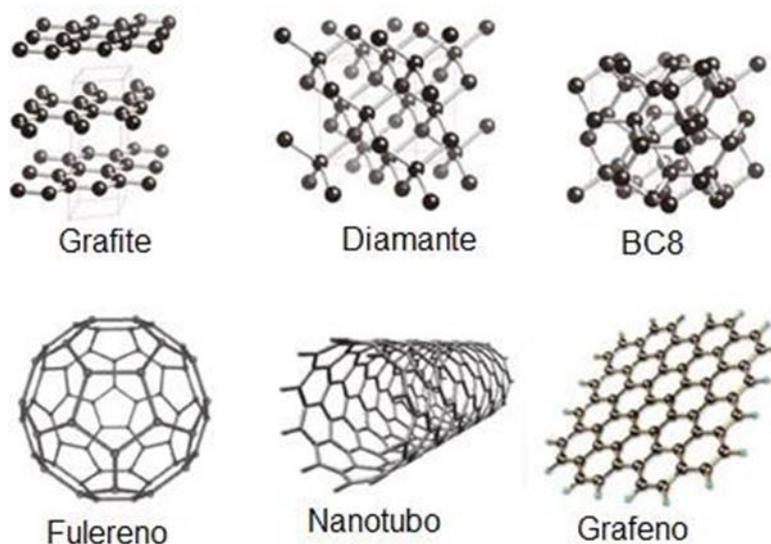
Analisar o comportamento de blindagem eletromagnética pelos fenômenos de absorção e reflexão, e blindagem total dos compósitos com diferentes espessuras de 1,0 mm, 1,5 mm e 2,0 mm. E determinar a influência da posição das camadas de fibras de carbono em relação as propriedades de permissividade elétrica e permeabilidade magnética. Essas camadas serão dispostas em diferentes ângulos em relação a primeira camada do compósito e irão variar a passo de 30°, ou seja, a primeira camada será definida como posição inicial e ângulo de 0°, e as camadas posteriores serão colocadas com ângulos de 30°, 60° e 90°.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 . Materiais

O carbono possui muitas formas alotrópicas que podem ser encontradas na natureza ou fabricadas, como apresentado na Figura 1. As formas cristalinas mais comuns do carbono, diamante e grafite, são exemplos clássicos de alotropia encontrados em todo livro didático de química. O diamante é encontrado com mais frequência em forma cúbica em que cada átomo de carbono está ligado a outros quatro átomos de carbono por ligações sp^3 em uma matriz tetraédrica. Já o grafite é encontrado em sua forma cristalina mais comum hexagonal (BURCHEL, 1999) e consiste em um empilhamento de folhas de grafeno, que apresentam organização cristalina, via atrações de van der Waals conferindo a estrutura tridimensional do grafite (PIERSON, 1993).

Figura 1 - Estruturas alotrópicas do carbono .



Fonte: adaptado de Oganov, 2013.

Esses exemplos não resumem a infinidade de materiais que o elemento carbono é capaz de formar. O próprio grafeno é uma estrutura que recebe atenção por suas propriedades, quando analisado de forma independente ao grafite, sendo uma estrutura onde cada átomo de carbono, com hibridização sp^2 , está ligado a outros três átomos, formando folhas bidimensionais com a aparência de uma colmeia (BÁRBARA, 2019) . Os Fullerenos são outra estrutura que o carbono é capaz de formar. Contendo 12 pentágonos e 20 hexágonos, possui estruturas fechadas, convexas, formadas por átomos de carbono com hibridização sp^2 . A forma mais convencional possui 60 átomos de

carbono (C_{60}) apresentando uma estrutura semelhante a uma bola de futebol (KROTO et al., 1985).

Outra estrutura muito estudada são os nanotubos de carbono. Podem ser vistos como estrutura cilíndrica formada a partir de folhas de grafeno e fechada por tampas fulerenoides. O modo como a folha de grafeno se enrola e o diâmetro interno das estruturas podem influenciar nas propriedades dos nanotubos de carbono, gerando materiais com características metálicas ou semicondutoras (BEKYAROVA et al., 2014). Os nanotubos de carbono, idealmente formados a partir do enrolamento da folha de grafeno, podem ser classificados quanto ao número de camadas, podendo possuir apenas uma camada, sendo denominados nanotubos de parede simples (SWNTs, Single-Wall Nanotubes), duas camadas, chamados nanotubos de parede dupla (DWNTs, Double-Wall Nanotubes), ou mais de duas camadas, recebendo o nome de nanotubos de parede múltipla (MWNTs, Multi-Wall Nanotubes). O primeiro destes materiais sintetizado por Iijima foi o nanotubos de múltiplas camadas (IJIMA, 1991), que recebeu este nome por apresentar-se na forma de um cilindro em escala nanométrica.

Ao contrário da forma bidimensional de carbono (grafeno), que também é uma subestrutura da fibra, a estrutura e a morfologia de uma fibra de carbono são complexas. As dimensões do cristalito dependem do método de medição e não são bem definidos em uma fase de carbono altamente orientada (FRANK, 2014). Devido à formação de microdomínios que podem dobrar e torcer, as fibras de carbono contêm defeitos, vacâncias, deslocamentos, limites de grãos e impurezas. O baixo espaçamento intercalar, tamanho grande de cristalito, alto grau de orientação paralela ao eixo da fibra, baixa densidade de defeitos e o alto grau de cristalinidade são características do módulo de alta resistência à tração e alta temperatura e fibras de alta condutividade elétrica (MINUS, 2005).

As fibras de carbono (CFs) têm alta resistência à tração de até 7 GPa com, muito boa resistência à fluência, baixas densidades (1,75 e 1,95 g / cm³) e módulos de tração altos (200 e 600 GPa) (FRANK, 2017). Mas esses valores variam de acordo com o precursor utilizado na fabricação da fibra (Tabela 1). A Tabela 2 apresenta o modo de classificação das fibras de carbono que possuem como precursor o PAN (Poliacrilonitrila). A Tabela 1 mostra as propriedades da fibra de carbono. Os resultados evidenciam que mesmo sendo feitas com a mesma matéria prima, pode ocorrer variações quanto as propriedades do produto final. Isso ocorre devido ao modo de

fabricação e outros aspectos. As propriedades da fibra de carbono variam de acordo com o precursor utilizado na sua fabricação.

Tabela 1 - Propriedades da fibra de carbono preparada com diferentes matérias-primas

Propriedades	PAN	Piche	Rayon
Resistência a tração (GPa)	2.5 ~3.1	1.6	2.1 ~2.8
Módulo de tração (GPa)	207 ~345	379	414 ~552
Densidade (g/cm ³)	1.8	1.7	2.0
Alongamento de ruptura (%)	0.6 ~1.2	1	

Fonte: Adaptado de WANG, 2011.

Tabela 2- Classificação da Fibra de Carbono, tendo como precursora PAN

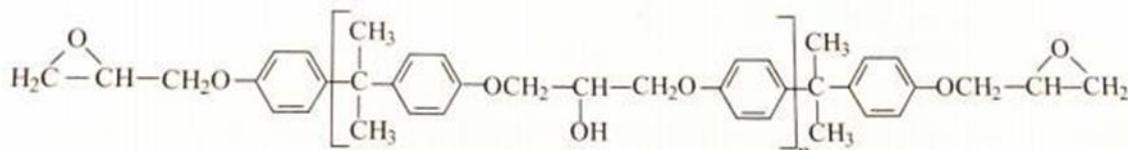
Tipos de Fibras de Carbono	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade à tração (GPa)
Baixo módulo de elasticidade	> 3500	< 200
Módulo elástico padrão	> 2500	200 e 280
Módulo elástico intermediário	> 3500	280 e 350
Módulo de alta elasticidade	> 2500	350 e 600
Módulo de elasticidade ultra-alto	> 2500	> 600

Fonte: Adaptado de FRANK, 2017.

As resinas epóxi possuem altas propriedades mecânicas, excelente estabilidade dimensional e térmica, baixo custo e fácil processamento (GU, 2016), além de possuírem excelentes propriedades tais como: como baixo encolhimento, excelentes propriedades mecânicas e de adesão e boa resistência a solventes químicos. No entanto, sua alta densidade de reticulação também resulta em comportamento indesejável. Frágil a fratura e baixa resistência à propagação de trincas dificultam o crescimento de suas aplicações (WANG, 2019).

Com o intuito de melhorar o desempenho de algumas propriedades mecânicas, as resinas epóxi utilizadas na indústria aeroespacial tem sofrido modificações em sua cadeia polimérica. O incremento de termoplásticos e elastômeros permitem uma tenacificação na mesma, propiciando uma maior capacidade de deformação desse polímero (REZENDE; COSTA; BOTELHO, 2011).

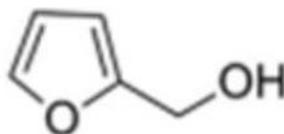
Figura 2 – Estrutura da resina epóxi



Fonte: REZENDE; COSTA; BOTELHO, 2011

O álcool furfurílico ($C_5H_6O_2$), Figura 3 é outro exemplo usado para produção de resinas. Obtido por redução catalítica do furfural ($C_5H_4O_2$), é um produto completamente natural derivado de cascas de plantas, bagaço de cana de açúcar e espigas de milho (WANG et. al., 2018). Armazenamento prolongado sob A condição ambiental, no entanto, faz com que a cor fique escura, aumente gradualmente a viscosidade e se torne menos solúvel em água devido à desidratação intermolecular acelerada pelo calor, acidez ou exposição ao oxigênio. Essa determinação pode ser retardada pela adição de pequenas quantidades de matéria orgânica ou bases orgânicas (SCHMITT, 1974).

Figura 3- Estruturas do Álcool furfurílico

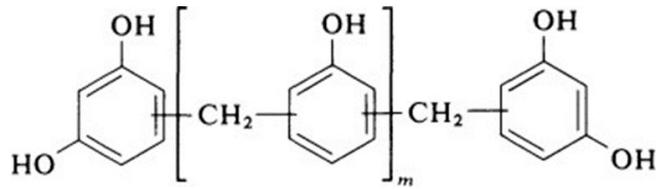


Furfuryl alcohol

Fonte: WANG et al., 2018.

Além dessa, há a resina fenólica / sílica que caracteriza nanocompósitos híbridos por melhores propriedades térmicas e maior rigidez em relação à pura resina fenólica. Além disso, seu uso pode melhorar a mecânica e propriedades térmicas dos compósitos carbono / carbono, bem como sua resistência à oxidação (NATALI, 2010).

Figura 4 – Estrutura da Resina Fenólica



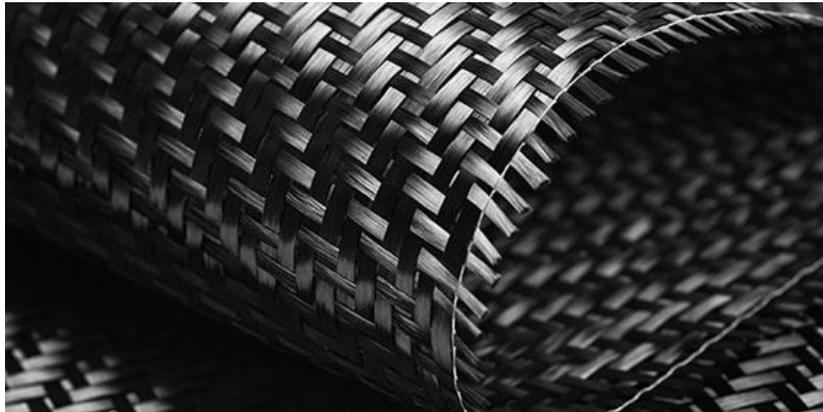
Fonte: ROBINS, 1986.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais Utilizados

Para esses experimentos será utilizado a fibra de carbono aeronáutico comercial. A Figura 5, representa uma imagem representativa do o tipo de fibra de carbono que será utilizada nesse projeto.

Figura 5 – Fotografia de um estrutura de fibra de carbono dobrada.



O processamento dos compositos irá consistir na distribuição das fibras de carbono em um molde. As fibras serão sobrepostas em diferentes ângulos. A fibra será presa pelas laterais. Após essa etapa a resina será depositada sobre a fibra. Um esquema simplificado do processo pode ser observado na Figura 6.

Figura 6 – Etapa do processamento das fibras de carbono com resina polimerica.

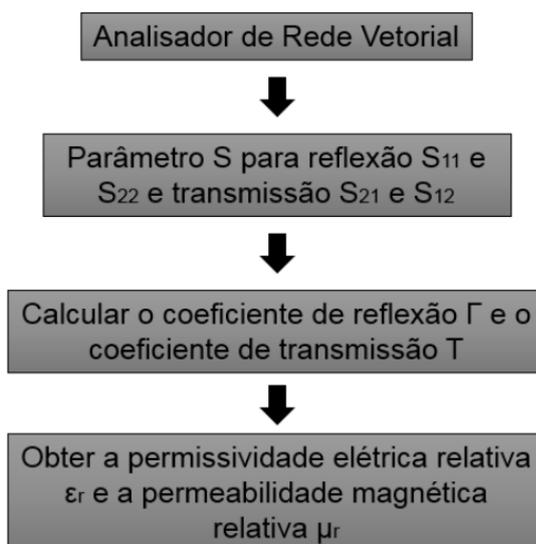


Fonte: Autor.

3.2 Caracterização Eletromagnética

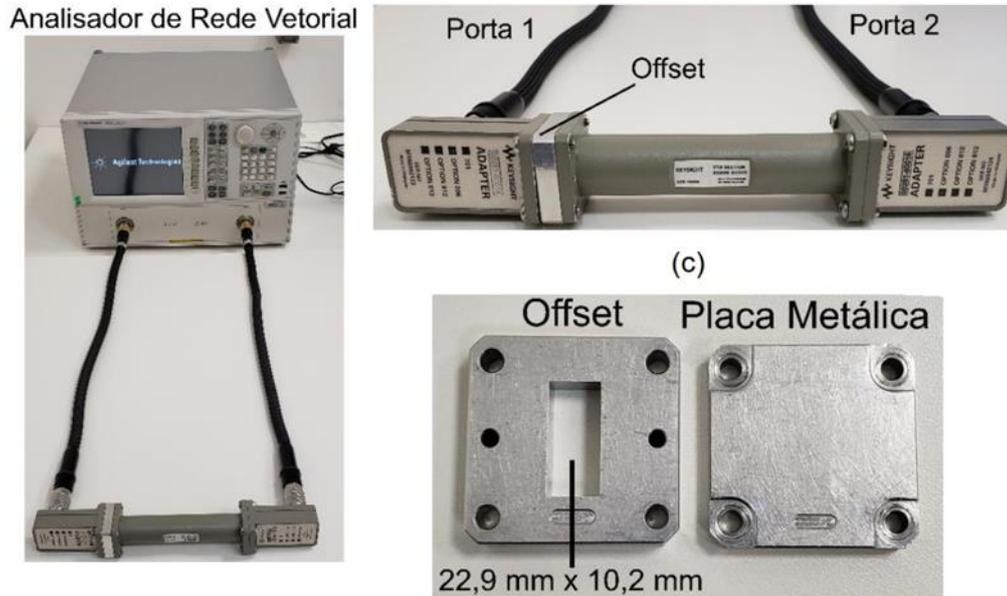
A caracterização eletromagnética será realizada com o objetivo de se obter os valores de permissividade elétrica (ϵ) e permeabilidade magnética (μ) das amostras a serem produzidas. Os valores de ϵ e μ (real e imaginário) serão obtidos através do algoritmo NRW associado Analisador de Rede Vetorial. Um fluxograma do algoritmo é apresentado na Figura 7. As análises foram feitas em um guia de onda retangular do Kit X11644A (Figura 8) acoplado por adaptadores a cabos transmissores de 3.5 mm com impedância de 50 Ω .

Figura 7 – Fluxograma do algoritmo NRW



Fonte: Autor.

Figura 8 – Analisador de rede vetorial.



(a) Analisador de Rede Vetorial acoplado aos cabos transmissores e ao guia de onda retangular, (b) Sistema de montagem do guia de onda retangular com os adaptadores dos cabos transmissores, e (c) Vista frontal do offset e da placa.

Fonte: Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pela impossibilidade de realização dos ensaios e testes, estabelecida por conta da pandemia de SARS-COV-2, a parte prática, conforme descrita resumidamente no item 3, captação de dados e conclusão deste trabalho ficou comprometida, sendo apenas exploradas a revisão e estudo de literaturas que abordassem o tema.

5 REFERÊNCIAS

- BENTO, M.S. *Estudo Cinético da Pirólise de Precursores de Materiais Carbonosos*, Tese de Mestrado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, 213p, 2004.
- BURCHELL, T. D. *Carbon Materials for Advanced Technologies*. Pergamon. 1.ed, p. 1-566, 1999.
- CHUNG, D. D. *Electromagnetic interference shielding effectiveness of carbon materials*. Carbon. Vol. 39, Issue 2, Pages 279-285, 2001.
- FORINTOS, N., CZIGÁNY, T. *Multifunctional application of carbon fiber reinforced polymer composites: Electrical properties of the reinforcing carbon fibers*. Composites Part B: Engineering. Vol. 162, Pages 331-343, 2019.
- FRANK, E., STEUDLE, L. M., INGILDEEV, D., SPÖRL, J. M., & BUCHMEISER, M. R. *Carbon Fibers: Precursor Systems, Processing, Structure, and Properties*. Angewandte Chemie International Edition, Vol. 53, Issue 21, Pages 5262-5298, 2014.
- FRANK, E., INGILDEEV, D., & BUCHMEISER, M. R. *Structure and Properties of High-Performance Fibers: High-performance PAN-based carbon fibers and their performance requirements*. Woodhead Publishing Series in Textiles, N° 187, Pages 7 – 30, 2017.
- GONÇALVES, A., PARDINI, L. C. *Processamento de compósitos termoestruturais de carbono reforçado com fibras de carbono*. Journal of Aerospace Technology and Management, 2009
- GU, J., YANG, X., LV, Z., LI, N., LIANG, C., & ZHANG Q. *Functionalized graphite nanoplatelets/epoxy resin nanocomposites with high thermal conductivity*. International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 92, Pages 15-22, 2016.
- HMADIAN, H., YANG, M., NAGARAJAN, A., SOGHRATI, S. *Effects of shape and misalignment of fibers on the failure response of carbon fiber reinforced polymers*. Computational Mechanics, 2019.
- HUANG, Z. M., KIM, H. M., YOUN, J. L., SONG, Y. S. *Injection Molding of Carbon Fiber Composite Automotive Wheel*. Fibers and Polymers, Vol.20, N°12, 2019.

KROTO, H. W.; HEATH, J. R.; O'BRIEN, S. C.; CURL, R. F.; SMALLEY, R. E. C60: Buckminsterfullerene. *Nature*, v. 318, n. 6042, p. 162–163, 1985. Nature Publishing Group. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/318162a0>. Acesso em: 17 abr. 2018.

LIU, J., ZHANG, H. B., SUN, R., LIU, Y., LIU, Z., ZHOU, A., YU, Z. Z. *Hydrophobic, Flexible, and Lightweight MXene Foams for High-Performance Electromagnetic-Interference Shielding*. *Advanced Materials*, 2017.

LU, J., LI, W., KANG, H., FENG, L., XU, J., LIU, R. *Microstructure and properties of polyacrylonitrile based carbon fibers*. *Polymer Testing*. Vol. 81, 2020.

MEI, H., HAN, D., XIAO, S., JI, T., TANG, J., CHENG, L. *Improvement of the electromagnetic shielding properties of C/SiC composites by electrophoretic deposition of carbon nanotube on carbon fibers*, *Carbon*. Vol. 109, Pages 149-153, 2016.

MINUS, M., & KUMAR, S. *The processing, properties, and structure of carbon fibers*. *JOM*, Vol.57, N°2, Pages 52–58, 2005.

MONTANARI, N., GONÇALVES, E. P. *Fibra de Carbono na Construção Civil*. São Paulo, 2016.

NATALI, M., MONTI, M., KENNY, J., & TORRE, L. *Synthesis and thermal characterization of phenolic resin/silica nanocomposites prepared with high shear Rate-Mixing Technique*. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 120, Issue 5, Pages 2632-2640, 2011.

OGANOV, A. R., HEMLEY, R. J., HAZEN, R. M., & JONES, A. P. *Structure, Bonding, and Mineralogy of Carbon at Extreme Conditions*. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. Vol. 75, N°1, Pages7- 46, 2013.

PIERSON, H. O. *Handbook of Carbon, Graphite, Diamonds and Fullerenes: Processing, Properties and Application*. 1ª ed..Noyes Publications, 1993.

REZENDE, M. C. *O Uso de Compósitos Estruturais na Indústria Aeroespacial*. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, Vol. 10, N° 2, 2000.ROBINS, J. *Phenolic Resins*. In: Hartshorn S.R. (eds) *Structural Adhesives. Topics in Applied Chemistry*. Springer, Boston, MA, 1986.

REZENDE, M. C.; COSTA, M. L.; BOTELHO, E. C. *Compósitos estruturais: tecnologia e*

prática. São Paulo: Artliber, Pages 20-34, 2011.

SALES, Bárbara Maria Campos. *Síntese e caracterização de materiais à base de carbono para aplicação como sensor de gás*. 2019. 141 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

THOMASSIN, J.-M., JÉRÔME, C., PARDOEN, T., BAILLY, C., HUYNEN. I., & DETREMBLEUR, C. *Polymer/carbon based composites as electromagnetic interference (EMI) shielding materials*. Materials Science and Engineering: R: Reports Vol. 74, Issue, Pages 211-232, 2013.

TUGIRUMUBANO, A., VIJAY, S. J., GO, S. H., KWAC, L. K., KIM, H. G. *Characterization of electromagnetic interference shielding composed of carbon fibers reinforced plastics and metal wire mesh based composite*. Journal of Materials Research and Technology, 2019.

WANG, R.-M., ZHENG, S.-R., & ZHENG, Y.-P. (2011). *Reinforced materials*. Polymer Matrix Composites and Technology. Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, Pages 29-99, 547-548.

WANG, L., CHEN, L., SONG P., LIANG, C., LU, Y., QIU, H., ZHANG, Y., KONG, J., GU, J. *Fabrication on the annealed Ti₃C₂T_x MXene/Epoxy nanocomposites for electromagnetic interference shielding application*. Composites Part B: Engineering Vol. 171, Pages 111-118, 2019.

WANG, C., MURUGADOSS, V., KONG, J., HE, Z., Mai, X., SHAO, Q., CHEN, Y., GUO, L., LIU, C., ANGAIAH, S., GUO, Z. *Overview of carbon nanostructures and nanocomposites for electromagnetic wave shielding*, Carbon. Vol. 140, Pages 696-733, 2018.

WANG, Y., CHEN, S., CHEN, X., LU, Y., MIAO, M., & ZHANG, D. *Controllability of epoxy equivalent weight and performance of hyperbranched epoxy resins*. Composites Part B: Engineering. Vol. 160, Pages 615-625, 2019.

WANG, Z., MENG, F., LI, X., ZHANG, X., HU, W., & ZHAO, G. *Cure behaviors of furfuryl alcohol/epoxy/methyltetrahydrophthalic anhydride and their enhanced mechanical and anti-acid properties of basalt fiber reinforced composites*. Composites Part B:

Engineering, Vol.154, Pages 263–271, 2018.

WILHELMSSON, D., RIKEMANSON, D., BRU, T., & ASP, L. E. *Compressive strength assessment of a CFRP aero-engine component – An approach based on measured fibre misalignment angles*. Composite Structures. Vol. 233, 2020.

YANG, Z.; REN, J.; ZHANG, Z., CHEN, X., GUAN, G., QIU, L., ZHANG, Y., PENG, H. Recent Advancement of Nanostructured Carbon for Energy Applications. Chemical Reviews, v. 115, n. 11, p. 5159–5223, 2015. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/10.1021/cr5006217>>. Acesso em: 2020.