

## COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA (RESINA FENÓLICA E LIGNINA) CONTENDO NANOGRAFITE EXPANDIDO E NEGRO DE FUMO CONDUTIVO

C.G. Renda<sup>1\*</sup>, J. A. Dias<sup>1</sup>; E. M. Mendes<sup>2</sup>; R. Mendes<sup>2</sup>, R. Bertholdo<sup>2</sup>, A.A. Lucas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de São Carlos

<sup>2</sup>Universidade Federal de Alfenas *campus* Poços de Caldas

Rod. Washington Luís (SP-310) Km 235, São Carlos-SP,

\*carmengreice@ppgcem.ufscar.br

### RESUMO

*A resina fenólica (RF) é termofixa, sendo amplamente estudada como matriz em compósitos e nanocompósitos com Grafite expandido (nGE) e com Negro de Fumo condutivo (NF) para obtenção de materiais com melhores propriedades elétricas e térmicas. O presente estudo visa introduzir a lignina (L) (2%*m/m*) no pré-polímero e verificar sua influência na percolação elétrica. Os resultados das caracterizações por Espectroscopia de Impedância (EI), FT-IR e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), demonstraram que as cargas aumentaram a condutividade elétrica da RF, e os materiais com NF e LNF apresentaram condutividade elétrica adequada para proteção antiestática. O nanocompósito com nGE apresentou desempenho superior ( $10^{-5}$  S/cm) na faixa de aplicações para blindagens eletromagnética e Proteções à Descarga Eletrostática, mas a adição de lignina, neste caso, não corroborou para manutenção da rede de percolação elétrica. As micrografias permitiram verificar as morfologias das cargas e um aumento acentuado de porosidade do nanocompósito RFLnGE.*

Palavras-chave: EMI, ESD, lignina, grafite, negro-de-fumo.

### INTRODUÇÃO

A RF é comumente obtida a partir da reação entre fenol e formaldeído, com ou sem agente de cura ou calor, em dois meios reacionais: meio ácido e com excesso

de fenol, é chamada novalaca (reação em duas etapas); ou meio básico e com excesso de formaldeído é chamada resol (reação em uma etapa)<sup>(1)</sup>. Porém, a resina novalaca também pode ser obtida em meio ácido, com excesso de formaldeído, sendo que esta reação ocorre em duas etapas: a primeira etapa forma “pontes” de metileno (ligações metilênicas) que são favorecidas nas posições *orto* e *para*, possibilitando formar um polímero linear; a segunda etapa ocorre catalisada pelo excesso de formaldeído, o qual atua como agente de cura <sup>(1,2,3)</sup>.

Os catalisadores ácidos mais comuns para síntese de resinas fenol-formaldeído são ácidos fortes, como ácido sulfúrico, ou mais fracos, como o oxálico, sendo que o mecanismo de reação envolve a protonação do grupo carbonila seguido de uma substituição eletrofílica aromática nas posições *orto* e *para*. A escolha da utilização do ácido oxálico como catalisador se justifica porque sublima a 157°C na pressão ambiente e se decompõe, formando CO, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, a temperaturas acima de 180°C, e estes não precisam ser retirados do sistema ao final da reação de cura. Além disso, é menos agressivo a peças de aço (moldes, prensa, etc) <sup>(1,2)</sup>.

Polímeros são isolantes elétricos, com condutividade elétrica abaixo de 10<sup>-12</sup> S/cm. A partir de cargas condutivas como grafite (resistividade entre 0,8-2,5Ω.cm) ou MWCNT (*Multiwalled carbon nanotubes – MWCNT*), a condutividade elétrica da matriz pode ser elevada em muitas ordens de magnitude, formando materiais passíveis de serem aplicados como materiais antiestáticos, ou que confirmam proteção à descarga eletrostática (proteção *Eletrostatic Discharge - ESD*), entre outros. Alterando a formulação destes materiais são obtidos diferentes níveis de condutividade elétrica, dando maior flexibilidade para processamento de dispositivos eletrônicos com propriedades específicas <sup>(1,4 apud 5)</sup>.

A resistividade elétrica de polímeros se divide em três grupos: 10<sup>6</sup>-10<sup>11</sup> Ω.cm são condutores de baixa tensão, 10<sup>2</sup>-10<sup>6</sup> Ω.cm são semi-condutores adequados para blindagens (EMI – *Eletromagnetic Interference Shielding*) e Proteções à Descarga Eletrostática (*ESD*) e abaixo de 10<sup>2</sup> Ω.cm são aquecedores, sensores, condutores elásticos. Compostos para EDS são largamente produzidos com negro de fumo, perfazendo 90% do mercado mas muitas outras cargas podem ser utilizadas. Os valores de percolação dependem principalmente de três fatores: da carga em particular, do formato e da interação da matriz. No caso do negro de fumo, o tamanho, a quantidade e a sua estrutura determinam as propriedades do

nanocompósito. Depois da formação da rede de concentração/percolação, a condutividade cresce rapidamente<sup>(12 apud 11)</sup>.

No campo da eletrônica, a dissipação do calor gerado despertou o interesse por materiais com condução térmica, entre eles os compósitos de fenol formaldeído com cargas de carbono como grafite, fibras de carbono e *MWCNT*<sup>(2)</sup>. Comparando os *MWCNT* com as fibras de carbono na matriz de RF, estas foram mais eficientes no aumento de propriedades como condutividade térmica e flexão sendo que a fibra de carbono e a grafite tiveram efeito sinérgico<sup>(6)</sup>. Outros estudos foram realizados com nanocompósitos de RF com *MWCNT*, de 0,3%*m/m* a 2,5%*m/m*, o quais demonstraram maior estabilidade térmica e organização estrutural para uma RF precursora de carbono não grafitizável<sup>(3)</sup>.

No trabalho de Botelho<sup>(1)</sup> foram sintetizados nanocompósitos de RF líquida com *MWCNT* dispersos em solução aquosa e por calandragem (*Three Roll Calender - TRC*), sendo que os teores de carga abaixo de 0,2%*m/m* foram suficientes para promover a percolação gerando mudanças significativas no comportamento físico-químico do compósito nanoestruturado. Porém cargas de 0,5%*m/m* não promoveram melhorias significativas quanto aos desempenhos viscoelásticos, térmico, elétrico e mecânico destes compósitos<sup>(1)</sup>. Alguns autores já estudaram RF comerciais em pó para compósitos baseados em carbono, tais como grafeno, *MWCNT*, grafite, nGE, NF e nanofibra de carbono, sendo que as melhores percolações e condutividades elétricas foram fibra de carbono (10%*m/m* e 100 S/cm), grafite (40%*m/m* e 108 S/cm) e nGE (12%*m/m* e 110 S/cm)<sup>(7)</sup>. A RF com lignina (L) também já foi utilizada para síntese de nanofios de carbetto de silício<sup>(8)</sup>.

Neste estudo a lignina foi utilizada como carga, com o intuito de ocupar um certo volume na matriz, expulsando as cargas condutivas deste volume e, eventualmente, facilitar a formação de uma rede de percolação elétrica. Assim, o presente trabalho visa estudar os compósitos preparados com as cargas (L, NF e nGE), correlacionando-as com suas características estruturais e microestruturais. Para tanto, realizou-se um estudo estrutural nas composições através de espectroscopia de absorção na região do infravermelho (*Fourier Transformed – Infrared Spectroscopy – FT-IR*) e suas condutividades avaliadas por Espectroscopia de Impedância (EI) e correlacionadas com resultados da microestrutura através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A composição das amostras de (nano) compósitos de resinas fenólicas (RF) sintetizadas na razão molar de 0,33 mol (p:f) com ácido oxálico ( $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$ -teor 99,5% Labsynth), sendo cada conjunto composto por 6 amostras, descritos na Tabela 1. As amostras foram produzidas em duplicata.

Tabela 1- Composições e abreviações dos conjuntos sintetizados

Composição	Abreviação
1 - Resina Fenólica	RF
2 - Resina Fenólica com Negro de Fumo	RFNF
3 - Resina Fenólica com NanoGrafite Expandido	RFnGE
4 - Resina Fenólica com Lignina	RFL
5 - Resina Fenólica com Lignina e Negro de Fumo	RFLNF
6- Resina Fenólica com Lignina e NanoGrafite Expandido	RFLnGE

As amostras foram sintetizadas colocando-se o fenol (PA ACS 99% Labsynth) e o formaldeído (37% Labsynth) em agitação magnética por 30 minutos. Em seguida, adicionou-se ácido oxálico na proporção 1:4m/m em relação ao fenol, mantendo estes sistema sob agitação por mais 90 minutos. Decorrido este tempo, a mistura foi levada a aquecimento até 75°C sob agitação e mantida nesta condição durante 20 minutos. Cessado o aquecimento, todas as amostras foram deixadas em repouso até a formação de um sistema bifásico, formado por uma fase orgânica e outra aquosa. Em seguida, a fase orgânica foi isolada para proceder a adição das cargas.

A lignina (L) é um polímero polifenólico natural abundante, de baixo custo, subproduto da indústria de papel e celulose, foi considerada carga e, assim como as cargas condutivas, nGE e/ou NF,, quando utilizada foi na proporção de 2% m/m em relação ao fenol. O NF super condutivo é Printex® XE2B Beads, da Orion Engineered Carbons GmbH, e o nGE é HC11, produzido pela Nacional de Grafite Ltda.

As cargas foram adicionadas utilizando-se um misturador de alta energia (Vortex), 30s, 2003 rpm, sendo que o mesmo procedimento foi adotado para as amostras sem carga. Os materiais obtidos foram acondicionados em cadinhos de alumina e curados em forno tipo mufla na seguinte programação: 80°C por 2 horas,

seguido por 100°C por 30 minutos e 170°C por mais 1 hora. A taxa de aquecimento em todos os estágios de tratamento foi de 3°C por minuto.

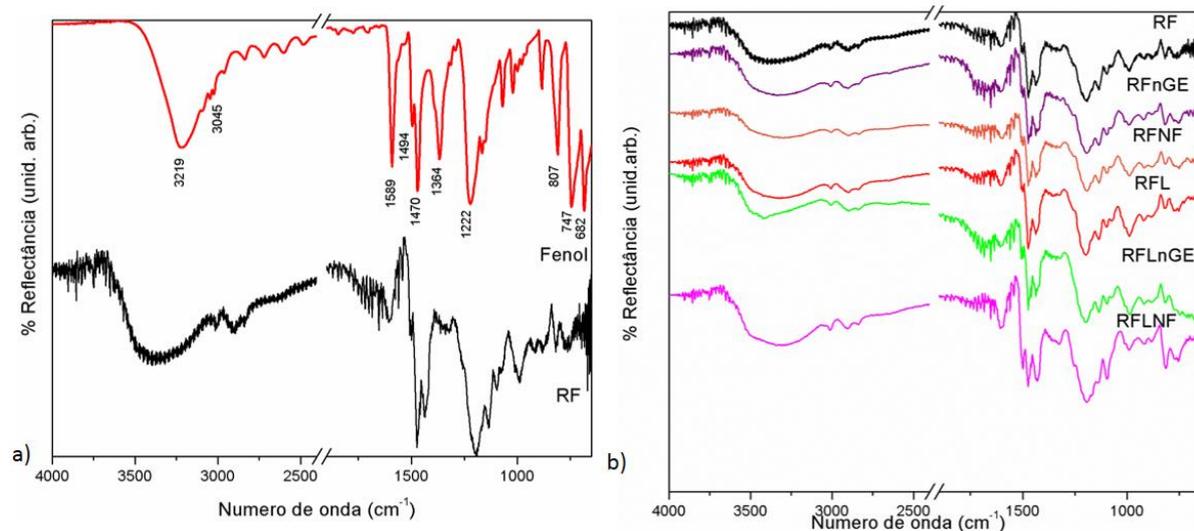
As amostras foram caracterizadas por FT-IR utilizando-se a técnica de reflexão total atenuada (*Attenuated Total Reflectance – ATR*) em um espectrômetro *Agilent Technologies Cary 630*. Os espectros foram obtidos entre 650 a 4000 $\text{cm}^{-1}$  com uma resolução de 4 $\text{cm}^{-1}$  e coletas de 64 acumulações.

As caracterizações elétricas foram realizadas por EI, utilizando-se o equipamento Solartron SI 1260, com interface dielétrica Solartron 1296. Foi utilizado eletrodo de liga Ouro-Paladium, obtido por evaporação durante 300 segundos em ambos os lados. As análises foram efetuadas na faixa de frequência de 1 MHz a 500 mHz, em temperatura ambiente (25°C). Foi empregado um programa computacional para análise quantitativa dos dados.

A morfologia e tamanhos de partículas foram investigados por MEV em um microscópio Magellan 400L, operando a 25Kv. Foi observada a superfície fraturada das amostras, que foi recoberta com uma fina camada de ouro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização estrutural das amostras obtidas são mostradas na Figura 1, onde é possível observar as bandas características da RF em todas as amostras.



Figuras 1: Espectros FT-IR (ATR), sendo as comparações dos espectros: a) do fenol e da RF e b) das referências RF e RFL e dos nanocompósitos (RFnGE, RFNF, RFLnGE e RFNF).

A banda  $3244\text{cm}^{-1}$  pode ser atribuída a deformação axial de O-H<sup>9</sup>, larga, em ligação hidrogênio molecular apresenta-se em  $3219\text{cm}^{-1}$  no fenol e deslocada na resina e mais alargada, em  $3381\text{cm}^{-1}$ . A banda  $3052\text{cm}^{-1}$  refere-se a deformação axial C-H de aromáticos<sup>9</sup>, aparece no fenol em  $3045\text{cm}^{-1}$ , e a região entre  $2980-2850\text{cm}^{-1}$  é atribuída a estiramento dos hidrogênios alifáticos oriundos de ligações –CH<sub>2</sub>- (como uma série de picos de intensidade fraca)<sup>2</sup>. As bandas  $1601, 1501, 1478\text{cm}^{-1}$  são de deformação axial de C=C do anel ( $1589, 1494$  e  $1470\text{cm}^{-1}$  no fenol e  $1609, 1498, 1476\text{cm}^{-1}$  na RF). As bandas  $1452, 1468, 1442\text{cm}^{-1}$  referem-se a deformação angular C-H, ciclização, e diminuem a frequência da vibração de def. angular simétrica no plano CH<sub>2</sub><sup>9</sup>. A banda  $1378\text{cm}^{-1}$  é a def. angular no plano de O-H (fenol), aparece no mesmo em  $1364\text{cm}^{-1}$ , e torna-se bem menos evidente na resina. A banda  $1231\text{cm}^{-1}$  é relativa deformação axial de C-O (do fenol)<sup>9</sup>, aparece no fenol em  $1222\text{cm}^{-1}$ . As bandas  $1040, 1023, 1014\text{cm}^{-1}$  representam a deformação axial C-O de álcoois primários do grupo CH<sub>2</sub>OH (metilol)<sup>9</sup> e estas resinas não apresentam estas bandas, como era esperado, por serem do tipo novalacas modificadas. As bandas  $815, 753\text{cm}^{-1}$  são referentes a deformação angular fora do plano de C=C do anel, aparece no fenol em  $682\text{cm}^{-1}$ , e a banda  $699\text{cm}^{-1}$  atribuída a def. angular fora do plano de C=C do anel<sup>9</sup> encontra-se em  $682\text{cm}^{-1}$  no fenol.

No nanocompósito RFLnGE a banda  $1258\text{cm}^{-1}$  diminui consideravelmente, o que pode ser explicado por um decréscimo de OH fenólico para as resinas fenólicas contendo lignina (RFL), pois segundo Qiao<sup>11</sup>, a lignina contém grupos funcionais complexos na região de  $1200-1400\text{cm}^{-1}$ , devido as suas ligações cruzadas complexas<sup>11</sup>. Já no nanocompósito RFNF há uma alteração na banda  $1068\text{cm}^{-1}$  que pode ser atribuída a  $\nu\text{C-O}^{11}$ .

As figuras 2 e 3 apresentam os resultados obtidos por caracterização elétrica das amostras sintetizadas. A Figura 2 apresenta o formalismo da impedância complexa (plano complexo de Nyquist); enquanto os dados na Figura 3 são apresentados na representação de Bode, realçando os fenômenos elétricos em função da frequência do campo elétrico aplicado.

Na Figura 3 observa-se pelo Diagrama de Nyquist, que a resistividade das amostras diferem umas das outras em várias ordens de grandezas. É possível analisar que as amostras RFLnGE, RF e RFL demonstraram resistividades superiores à  $10^{10}\ \Omega\cdot\text{cm}$ , uma vez que não foi definido semicírculo no plano complexo.

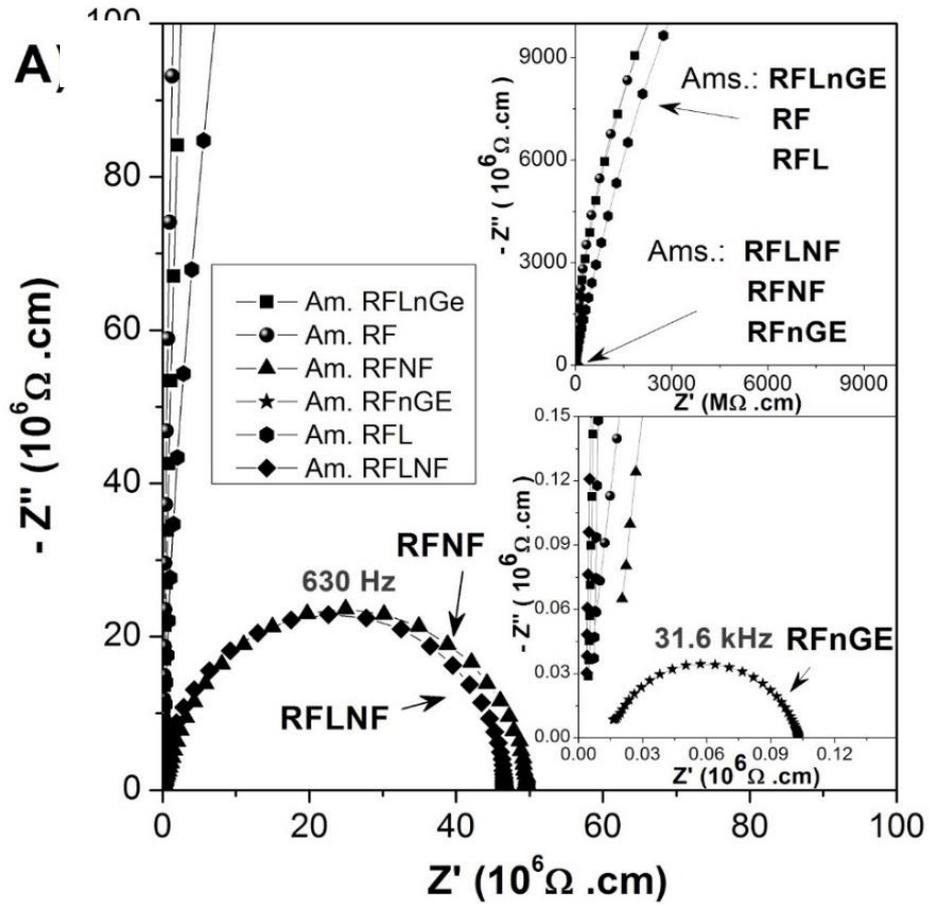


Figura 2 – Caracterização elétrica dos nanocompósitos e amostras puras por plano complexo de Nyquist.

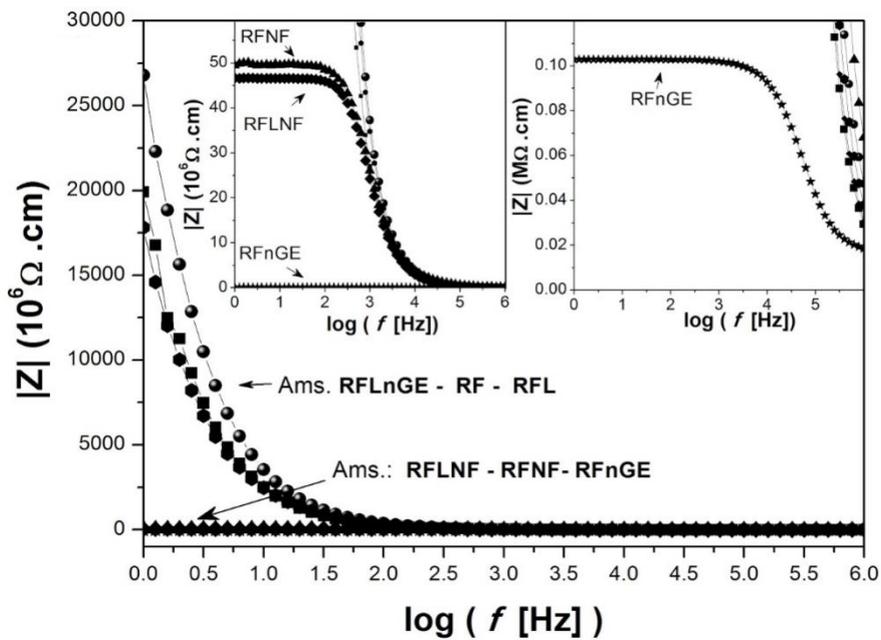


Figura 3 – Caracterização elétrica dos nanocompósitos e amostras puras por representação de Bode.

Além disso, verifica-se um crescimento indefinido do vetor impedância com a diminuição da frequência do campo aplicado. Esse fato é justificável, uma vez que as amostras RF e RFL não apresentam cargas condutoras, esperando-se assim elevada resistividade elétrica. Por outro lado, as demais amostras apresentaram resistividade elétrica em ordem de grandeza menores que as primeiras, sendo da ordem de  $5 \cdot 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$ .

Particularmente, essas amostras são as que possuem NF como carga, RFNF e RFLNF. Apesar de similares, para esse caso, observa-se valor ligeiramente menor para a amostra com L, o que sugere que a mesma contribuiu para o aumento da condutividade nesse sistema. Ademais, como ambos os semicírculos possuem o mesmo valor de frequência de relaxação, é possível afirmar que ambas as amostras dependem do mesmo microconstituente para que a condução ocorra; sendo atribuído ao NF.

A amostra contendo nGE, RFnGE, foi a que apresentou menor resistividade elétrica, da ordem de  $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ . Já a amostra RFLnGE apresentou resistividade elétrica típica de isolantes elétricos, ie, a presença da L desfez a rede de percolação elétrica das partículas de nGE.

As micrografias obtidas por MEV são apresentadas nas Figura 4 e 5. A presença de porosidade é esperada, devido à formação de água como subproduto da síntese da RF. Ademais, foi possível observar que para o nanocompósito RFnGE a porosidade foi negligenciável, muito inferior às demais amostras sintetizadas, permitindo assim uma boa distribuição das partículas de nGE por toda a matriz RF e favorecendo a formação de uma rede de percolação elétrica (Figura 4c). Tal fator sugere que uma combinação sinérgica entre carga e matriz foi atingida; e a redução da porosidade impactou positivamente nos resultados de condução eletrônica. A L, contudo, para esse sistema atua de forma a aumentar drasticamente a porosidade e colabora para uma distribuição ruim da carga condutiva, uma vez que alguns aglomerados podem ser vistos na micrografia nanocompósito RFLnGE (Figura 4d), comprometendo a condução.

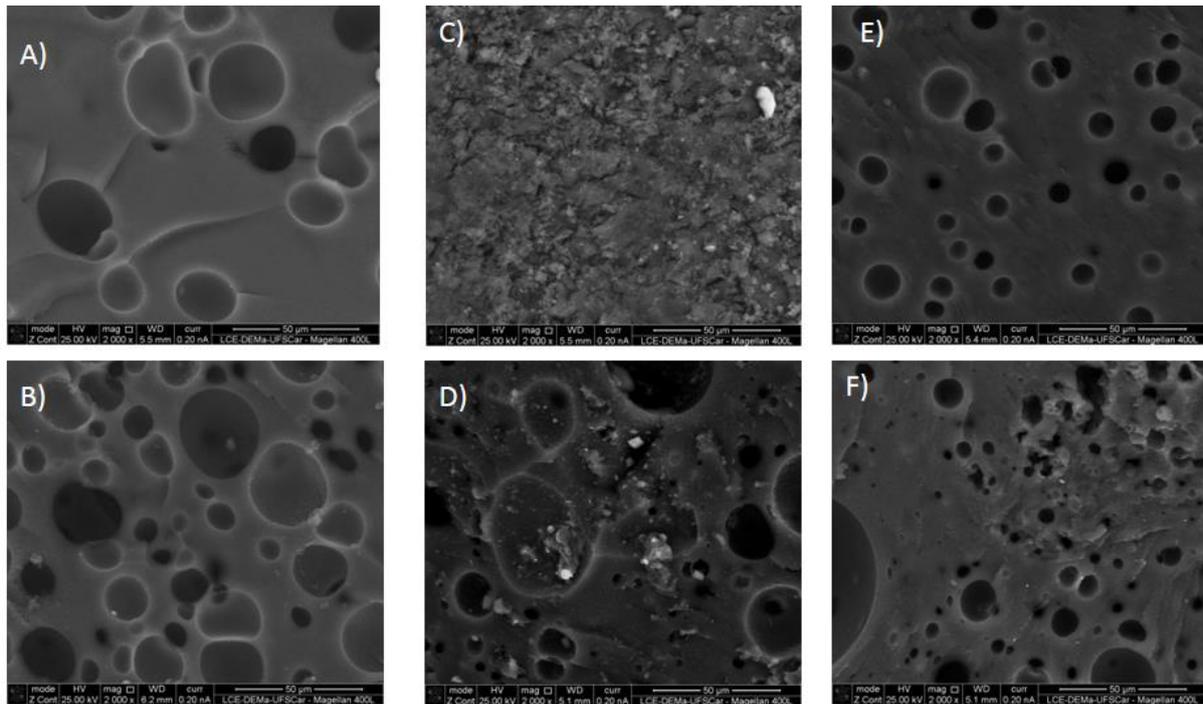


Figura 4 – Imagens MEV, sendo: a)RF, b)RFL, c) RFnGE, d) RFLnGE, e)RFNF e f)RFLNF, todas com ampliação de 2000x.

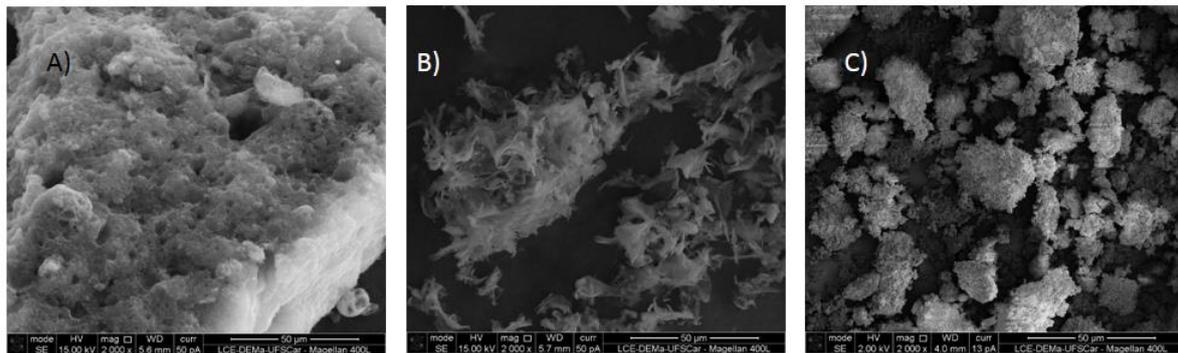


Figura 5 - Imagens MEV, sendo: a)NF, b)nEG, c) L, todas com ampliação de 2000x.

Através das microscopias das cargas (figuras 5) é possível perceber que as cargas tem formatos diversos, evidenciando que modificaram a morfologia da resina pura, conforme já mencionado.

Com finalidade de se comparar quantitativamente as propriedades elétricas das amostras, sobretudo as que manifestaram condução eletrônica, a Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para as diferentes amostras, onde  $\beta$  é o ângulo de depressão (graus); C a capacitância (F);  $R$  ( $\Omega$ ) a resistência;  $\rho$  ( $\Omega$ .cm) a resistividade;  $\sigma$  ( $\Omega^{-1}$ .cm<sup>-1</sup>) a condutividade e  $f_0$  (Hz) a frequência de relaxação característica do fenômeno elétrico.

Para obtenção das propriedades apresentadas, foi utilizado um circuito equivalente *R-CPE* simples, devido ao fato de ter sido observado apenas um semicírculo no Diagrama de Nyquist para todas as amostras.

Tabela 2- Propriedades elétricas das amostras sintetizadas.

Amostras	$\beta$ -CPE (graus)	C (F)	R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega$ .cm)	$\sigma$ ( $\Omega^{-1}$ .cm $^{-1}$ )	$f_0$ (Hz)
RFNF	4,230	$6,17 \cdot 10^{-12}$	$4,15 \cdot 10^7$	$4,93 \cdot 10^7$	$2,03 \cdot 10^{-8}$	630
RFnGE	13,303	$6,66 \cdot 10^{-11}$	$6,33 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^4$	$1,11 \cdot 10^{-5}$	$3,16 \cdot 10^4$
RFLNF	1,100	$6,47 \cdot 10^{-12}$	$4,07 \cdot 10^7$	$4,66 \cdot 10^7$	$2,15 \cdot 10^{-8}$	630
Demais amostras	-	-	↑ $10^{10}$	↑ $10^{10}$	↓ $10^{-10}$	-

Assim, os resultados obtidos por ajuste computacional corroboram com a discussão realizada, sendo que a amostra RFnGE se apresenta bem mais condutiva que as demais. As amostras sem carga apresentam valores de resistividade superiores à  $10^{11} \Omega$ .cm, o que está de acordo com o esperado para polímeros em geral.

## CONCLUSÕES

Quanto às propriedades elétricas, as amostras apresentaram diferentes valores de resistividade, sendo que os materiais contendo NF obtiveram valores próximos à  $5 \cdot 10^7 \Omega$ .cm, tornando-se promissores para aplicações condutores de baixa tensão. Para essas amostras, a L contribuiu para uma pequena redução na resistividade elétrica, enquanto que para as amostras com nGE o efeito foi oposto, justificado pelo incremento da porosidade da amostra quando adicionado esse constituinte, e clara aglomeração das cargas, atrapalhando a formação da rede de percolação. A amostra contendo nGE como carga, sem L, foi a que apresentou o menor valor de resistividade elétrica ( $9 \cdot 10^4 \Omega$ .cm), sendo classificada na faixa dos semi-condutores adequados para blindagens (EMI – *Eletromagnetic Interference Shielding*) e Proteções à Descarga Eletrostática (ESD). A morfologia desta amostra sugere a menor porosidade dentre todas, permitindo assim, um maior contato entre as partículas condutivas.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao LAMAV-DEMa (Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ana Candida Rodrigues) pelo auxílio técnico prestado; ao Grupo de Engenharia de Microestrutura de Materiais - GEMM (Prof. Dr. Victor Carlos Pandolfelli e Dr<sup>ª</sup>. Ana Paula da Luz).

## REFERÊNCIAS

- (1) BOTELHO, E.C. Processamento e Caracterização de Compósitos de Resina Fenólica com Nanotubos de Carbono com Aplicações Aeroespaciais. 2011. 180 f. **Tese** (Libre-Docência em Processamento de Compósitos na área de Engenharia de Materiais) -Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP, Faculdade de Engenharia, Guaratinguetá, 2011.
- (2) BORGES, Sandro Gasparetto. Síntese e Caracterização de Resinas Fenólicas Líquidas do Tipo Novalaca Aplicáveis no Processo de Pultrusão. 2004. 129 f. **Dissertação** (Mestrado - Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais- PPGCEM) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2004.
- (3) RENDA, C.G. Estudo da Resina Fenólica FenolFormaldeído e sua Aplicação como Matriz na Preparação de Nanocompósitos Poliméricos contendo Nanotubos de Carbono. 2015.102 f. **Tese** (apresentada para obtenção do Título de Mestre em Ciência e Engenharia dos Materiais) -Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL, Poços de Caldas, 2015.
- (4) Klason C, McQueen D H, Kubat J, *Macromol. Symp.*, **108**, 1996, 247-60.
- (5) WYPYCH, George. Handbook of Fillers. 2<sup>nd</sup> Edition. Toronto-New York: Published by Chem Tec Publishing, Co-published by PDL-Plastic Design Library. 2000.
- (6) YAN, Dong et al. Thermally conductive phenol formaldehyde composites filled with carbon fillers. **Materials Letters**, v. 118, p. 212-216, 2014.
- (7)TAHERIAN, Reza. Experimental and Analytical Model for the electrical conductivity of Polymer - Based nano composites. *Composites Science and Technology*. Vol.123, pp.17-31, 2016.
- (8)WANG, Fu-cheng et al. Synthesis and characterization of silicon carbide nanowires from lignin-phenolic resin and silicon powder with an in-situ formed molten salt as catalyst. **New Carbon Materials**, v. 30, n. 3, p. 222-229, 2015.
- (9)SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Identificação Espectrométrica de Compostos Orgânicos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2006.
- (10)QIAO, Wei et al. Synthesis and characterization of phenol-formaldehyde resin using enzymatic hydrolysis lignin. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 21, p. 1417-1422, 2015.
- (11) ABRASONIS, G. et al. Fullerene Research Advances. Editor Carl N. Kramer. Nova Science Publishers, Inc. New York. 2007.

## **Composites Polymeric Matrix (Phenolic Resin And Lignin) With Expanded Nano Graphite And Conductive Carbon Black**

### **ABSTRACT**

The phenolic resin (PR) is a thermosetting polymer and it is widely studied as matrix in expanded grafite (nEG) and conductive carbon black (CB) composites and nanocomposites, aiming to obtain materials with better electrical and thermal properties. This study intends to introduce the lignin (L) (2w%) in pre-polymer and verify its influence in the electrical percolation. The materials were characterized by Impedance Spectroscopy (IS), FT-IR (Fourier Transformed- Infrared Spectroscopy) and Scanning Electronic Microscopy (SEM). The results showed that the charge increased the electrical conductivity of phenolic resin: the CB and L-CB materials presented properties of low conductive materials. The nEG nanocomposite have shown the better performance ( $10^{-5}$  S/cm), proper for Electrostatic Discharge/ Eletromagnetic Interference Shielding; however, the lignin addition is not beneficial for maintenance of the network electrical percolation in this case. The microscopy techniques permitted verify the charge morfology and an increment in the porosity of the nEG nanocomposite.

Keywords: EMI, ESD, lignin, graphite, carbon black.