

ISSN 2175-8395

Endereço Administrativo Tópico

CEP

58050-000

Rua Dr. São Mateus

55

**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**  
**Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Site

www.ebpa.br

E-mail

ebpa@ebpa.br

Endereço Administrativo Tópico

CEP

58050-000

Rua XV de Novembro

105

Fortaleza

CE

CEP

58050-000

Brasil

Phone

(85) 3210-5000

Fax

(85) 3210-5001

E-mail

ebpa@ebpa.br

Endereço Administrativo Tópico

CEP

58050-000

Rua XV de Novembro

105

Fortaleza

CE

CEP

58050-000

Brasil

Phone

(85) 3210-5000

Fax

(85) 3210-5001

E-mail

ebpa@ebpa.br

## REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO

### ANAIS DO VI WORKSHOP – 2012

Maria Alice Martins

Morsyleide de Freitas Rosa

Men de Sá Moreira de Souza Filho

Nicodemos Moreira dos Santos Junior

Odílio Benedito Garrido de Assis

Caue Ribeiro

Luiz Henrique Capparelli Mattoso

### Editores

ISBN: 978-85-7500-501-5  
Código: EAN: 9788575005015  
R\$ 50,00

Editora: EBM  
Endereço Administrativo Tópico  
CEP: 58050-000  
Rua XV de Novembro, 105  
Fortaleza, Ceará  
Brasil

Fortaleza, CE

2012

**Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:**

**Embrapa Instrumentação**

Rua XV de Novembro, 1452,  
CEP 13560-970 – São Carlos, SP  
Fone: (16) 2107-2800  
Fax: (16) 2107-2902  
<http://www.cnpdia.embrapa.br>  
E-mail: [sac@cnpdia.embrapa.br](mailto:sac@cnpdia.embrapa.br)

**Embrapa Agroindústria Tropical**

Rua Dra. Sara Mesquita, 2270,  
CEP 60511-110 – Fortaleza, CE  
Fone: (85) 3391-7100  
Fax: (85) 3391-7109  
<http://www.cnpat.embrapa.br>  
E-mail: [sac@cnpat.embrapa.br](mailto:sac@cnpat.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Embrapa  
Instrumentação**

Presidente: João de Mendonça Naime  
Membros: Débora Marcondes Bastos Pereira  
Milori, Washington Luiz de Barros Melo, Sandra  
Protter Gouvêa, Valéria de Fátima Cardoso.  
Membro suplente: Paulo Sérgio de Paula  
Herrmann Júnior

**Comitê de Publicações da Embrapa  
Agroindústria Tropical**

Presidente: Antonio Teixeira Cavalcanti Júnior  
Secretário-Executivo: Marcos Antonio Nakayama  
Membros: Diva Correia, Marlon Vagner Valentim  
Martins, Arthur Cláudio Rodrigues de Souza, Ana  
Cristina Portugal Pinto de Carvalho, Adriano  
Lincoln Albuquerque Mattos e Carlos Farley  
Herbster Moura

Supervisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto

Capa: Mônica Ferreira Laurito, Pedro Hernandes Campaner  
Imagens da capa:

Imagen de MEV-FEG de Titanato de potássio – Henrique Aparecido de Jesus Loures  
Mourão, Viviane Soares

Imagen de MEV de Eletrodeposição de cobre – Luiza Maria da Silva Nunes, Viviane Soares

Imagen de MEV de Colmo do sorgo – Fabrício Heitor Martelli, Bianca Lovezutti Gomes,  
Viviane Soares

Imagen de MEV-FEG de HPMC com nanopartícula de quitosana – Marcos Vinicius Lorevice,  
Márcia Regina de Moura Aouada, Viviane Soares

Imagen de MEV-FEG de Vanadato de sódio – Waldir Avansi Junior

Imagen de MEV de Fibra de pupunha – Maria Alice Martins, Viviane Soares

1ª edição

1ª impressão (2012): tiragem 300

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui  
violação dos direitos autorais (Lei nº. 9.610).

**CIP-Brasil. Catalogação na publicação.**

**Embrapa Instrumentação**

---

Anais do VI Workshop da rede de nanotecnologia aplicada ao agronegócio 2012 – São  
Carlos: Embrapa Instrumentação; Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2012.

Irregular

ISSN: 2175-8395

1. Nanotecnologia – Evento. I. Martins, Maria Alice. II. Rosa. Morsyleide de  
Freitas. III. Souza Filho, Men de Sá Moreira de. IV. Santos Junior, Nicodemos Moreira  
dos. V. Assis, Odílio Benedito Garrido de. VI. Ribeiro, Caeu. VII. Mattoso, Luiz  
Henrique Capparelli. VIII. Embrapa Instrumentação. IX. Embrapa Agroindústria  
Tropical.

---

## Caracterização de Nanofibras Poliméricas Obtidas por Eletrofiação Revestidas por Polímeros Condutores para Construção de Sensores Interdigitados.

Vanessa P. Scagion<sup>1,2</sup>, Juliano E. Oliveira<sup>2</sup>, Viviane Grassi<sup>2</sup>, Daniel S. Corrêa<sup>2</sup>, Luiz H.C. Mattoso<sup>2\*</sup>

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

<sup>2</sup>Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP

\*mattoso@cnpdia.embrapa.br

Projeto Componente: PC2

Plano de Ação: PA2

### Resumo

Novos métodos quantitativos e qualitativos para análise da qualidade de águas e também pesquisas para o aperfeiçoamento dos métodos já existentes vem despertando o interesse da comunidade científica. Estes novos métodos analíticos buscam analisar, por exemplo, traços de contaminantes e seus efeitos nos ambientes aquáticos. Neste contexto, este trabalho visou o desenvolvimento de sensores interdigitados de grafite impressos em substrato de poliureftalato de etileno modificados com nanofibras de poliamidas, obtidas pelo método de eletrofiação, com sobreposição de bicamadas de polímeros condutores poli(o-etoxianilina)\ polipirrol.

**Palavras-chave:** eletrofiação, automontagem, polímeros condutores, sensores

### Introdução

O avanço tecnológico e o crescimento populacional causaram um aumento na utilização dos recursos naturais de maneira desordenada e sem consciência, trazendo assim a necessidade de se buscar meios mais sustentáveis de se gerenciar esses recursos[1]. Dentre esses recursos podemos destacar o hídrico, o qual vem sofrendo significativa contaminação por diversos tipos de resíduos como os pesticidas empregados na agricultura[2]. Como consequência, nota-se um aumento de pesquisas voltadas para a busca de novos métodos de análise quantitativos e qualitativos e também pesquisas para o aperfeiçoamento dos métodos já existentes[3]. Estes novos métodos analíticos buscam analisar traços de contaminantes e seus efeitos nos ambientes aquáticos. Neste contexto, este trabalho visou o desenvolvimento de sensores interdigitados de grafite impressos em substratos de PET

(poliureftalato de etileno) [4] modificados com nanofibras de poliamidas (Nylon 6), obtidas pelo método de eletrofiação, com sobreposição de bicamadas de polímeros condutores (POEA - poli(o-etoxianilina)\ PPY - polipirrol).

A eletrofiação foi redescoberta em 1995 por Doshi e Reneker como uma técnica potencial no desenvolvimento de materiais nanoestruturados[5]. Desde então, Reneker e seu grupo de pesquisa buscam desenvolver um modelo matemático para compreender e analisar cada uma das quatro regiões da eletrofiação. Nessa abordagem, o jato é considerado equivalente a um sistema tridimensional massa-mola que apresenta irregularidade nas fibras em forma de pequenas esferas, conhecidas como *beads* (termo em inglês), contendo uma carga elétrica e uma determinada massa, conectados por elementos viscoelásticos.

Devido à grande versatilidade da técnica de eletrofiação, é possível se obter os mais diversos tipos de fibras com excelentes propriedades através de simples ajustes nas variáveis de processo [6]

O monitoramento das águas por sensores é uma alternativa interessante quando incorporado ao sistema de tratamento de águas, em que eventuais deteriorações da qualidade da água na fonte de abastecimento podem ser prontamente detectadas, possibilitando correções no procedimento de tratamento e evitando que uma água de má qualidade seja fornecida à população. Para isso, a automatização desse monitoramento é desejável, pois facilita a aquisição dos dados e permitem detectar de forma rápida qual parâmetro se encontra fora de das especificações [7].

Assim, os sensores desenvolvidos neste trabalho foram empregados no monitoramento da qualidade de águas, desde as minerais até amostras reais de águas oriundas da lavagem de milho contaminados com pesticida. A utilização de nanofibras recobertas com polímeros para modificação de eletrodos visa tornar estes mais sensíveis, estáveis e seletivos. A escolha dos polímeros POEA e PPy para a formação das bicamadas visa conferir propriedades elétricas superficiais aos eletrodos que sejam adequadas à aplicação em questão.

## Materiais e métodos

A constatação da deposição de camadas alternadas de POEA e PPy foi realizada através da utilização da técnica de espectroscopia de ultravioleta-visível (UV-Vis) e da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV). A interação entre os polímeros condutores e a poliamida 6 foi avaliada por espectroscopia na região do infravermelho (FTIR). Após essa análise, foram obtidos seis eletrodos sobre os quais foram depositados, por 2 minutos, nanofibras de poliamidas, utilizando-se uma vazão de ejeção de 0,1ml/h e uma tensão de 16kV. O crescimento das bicamadas de polímeros condutores foi feita utilizando-se o método de automontagem e a quantidade de bicamadas foi variada (1;3;5;6;7 e 9 bicamadas) para se poder observar o efeito dessas na morfologia das nanofibras.

## Resultados e discussão

Na Fig.1 são mostradas imagens seqüenciais de nanofibras de poliamida 6 (a) e nanofibras de poliamida 6 revestidas por (b) 1 e (c) 9 bicamadas de PPy/POEA. Observa-se que, com o aumento do número de bicamadas, o diâmetro das nanofibras

também aumenta. Ressalva-se que o aumento do diâmetro das nanofibras não é desejável a partir de certo ponto, uma vez que este levaria a formação de um filme contínuo na superfície do eletrodo e consequentemente diminuiria o contacto do analito com o eletrodo interdigitado.

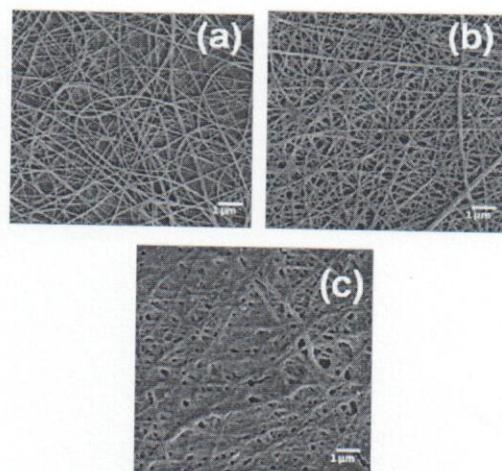


Fig 1. Imagens obtidas por MEV de nanofibras de poliamida 6 obtidas por eletrofiação revestidas por (a) nenhuma, (b) 1 e (c) 9 bicamadas de polímeros condutores.

Medidas de diâmetro das fibras efetuadas com o auxílio do software Image J indicam que o diâmetro médio das fibras de poliamida 6 aumentou de 40 nm para 46 e 90 nm quando revestidas com 1 e 9 bicamadas, respectivamente.

Espectros na região do infravermelho das amostras foram coletados para confirmar a presença de grupamentos químicos característicos do PPy e da POEA nas nanofibras de poliamida 6 modificada. A Fig. 2 mostra os espectros de FTIR no modo de transmissão de nanofibras de poliamida 6 pura e nanofibras de poliamida 6 modificadas com 5 bicamadas de filmes automontados de PPy / POEA.

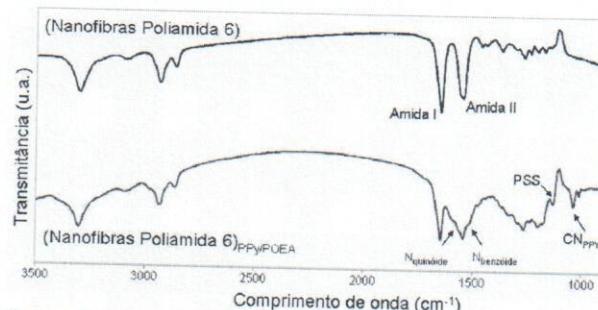


Fig 2. Espectros de infravermelho de nanofibras de poliamida 6 e de nanofibras de poliamida 6 modificadas por 5 bicamadas de PPy/POEA

Observa-se na Fig. 2 que nanofibras de poliamida apresentam picos característicos em 1552

e 1648 cm<sup>-1</sup>, típicos de grupos amida. Para as nanofibras de poliamida modificadas com 5 bicamadas de PPy/POEA podemos observar, além dos mesmos picos evidenciados nas nanofibras de poliamida, dois picos novos localizados em 1594 e 1509 cm<sup>-1</sup>. Tais picos correspondem ao nitrogênio do anel quinóide e benzóide, respectivamente, sendo que ambos os grupos estão relacionados com a POEA. Pode-se também observar um pico localizado em 1036 cm<sup>-1</sup>, que está relacionado com grupos do PPy. Estes fatos revelam que os filmes automontados de PPy/POEA foram efetivamente incorporados sobre as nanofibras de poliamida 6.

## Conclusões

Os resultados obtidos pelo MEV indicam que o aumento do número de bicamadas sobre as nanofibras acarreta num incremento no diâmetro médio das mesmas. Essa alteração na morfologia das nanofibras se relaciona também a uma interação entre os polímeros, visualizada através de espectros de infravermelho. Estas alterações na morfologia das fibras se contrapõem ao aumento na condutividade superficial dos eletrodos devido aos polímeros condutores. O recobrimento das mantas de nanofibras e a consequente redução de sua porosidade podem causar uma diminuição na sensibilidade do sensor, visto que essas alterações dificultam a mobilidade e a difusão dos íons presentes na solução analisada, ou seja, diminui a interação destes na interface eletrodo/solução. Assim, valores otimizados de bicamadas de polímeros condutores (no caso estudado, de 5 bicamadas) devem ser adotados em aplicações que envolvam sensores capacitivos e resistivos na análise de águas pela língua eletrônica.

## Agradecimentos

CNPq, FINEP, Embrapa, FIPAI, CAPES, FAPESP

## Referências

1. E. R. Carvalho, et al. *Sensor Letters*, v. 4, n. 2, p. 129-134, Jun 2006. ISSN 1546-198X.
2. D. S. Dyminski, et al.. *Sensor Letters*, v. 4, n. 4, p. 403-408, Dec 2006. ISSN 1546-198X.
3. E. J. Ferreira, et al. *Electronics Letters*, v. 43, n. 21, p. 1138-1140, Oct 2007. ISSN 0013-5194.
4. E. C. Venancio, et al. *Sensors and Actuators B-Chemical*, v. 130, n. 2, p. 723-729, Mar 2008. ISSN 0925-4005.
5. D. H. Reneker, I. Chun, *Nanotechnology*, v. 7, n. 3, p. 216-223, Sep 1996. ISSN 0957-4484.

6. D. Aussawasathien, J. H. Dong, L. Dai, *Synthetic Metals*, v. 154, n. 1-3, p. 37-40, 2005. ISSN 0379-6779.
7. L. Moreno I, Codinachs, et al.. *Analyst*, v. 133, n. 10, p. 1440-1448, 2008. ISSN 0003-2654.