



## Produção de eletrodos flexíveis

### *Production of flexible electrodes*

**Bruno Marcelo Biernaski\***, **Prof. Dr. Andreia Gerniski Macedo†**,

#### RESUMO

O aumento da demanda por eletrodos flexíveis tem direcionado os pesquisadores ao desenvolvimento de novos materiais e métodos de produção. Neste trabalho, foram produzidos eletrodos flexíveis de nanotubos de carbono sobre substratos de papel ou plástico, pela técnica de screen printing. A técnica de screen printing tem sido amplamente usada na deposição de tintas ou nanopartículas condutoras em padrões pré-definidos, possibilitando a produção de eletrodos de baixo custo. Os eletrodos produzidos foram caracterizados pelos métodos de UV-Vis e resistividade elétrica por quatro pontas. Os resultados indicam que os nanotubos de carbono formam um filme semitransparente na região do visível, com resistividade elétrica da ordem de  $1 \text{ k}\Omega/\square$ .

**Palavras-chave:** screen printing, eletrodos, condutividade, papel, tintas,

#### ABSTRACT

Increasing demand for flexible electrodes led the researchers to develop new materials and method for production. In this work, carbon nanotubes based flexible electrodes have been produced onto paper or plastic substrates through screen printing method. Screen printing has been largely used to deposit conductive inks or nanoparticles in pre-defined patterns with low cost of processing. These electrodes were characterized by UV-Vis and electrical resistivity by four probe method. The results pointed out that the carbon nanotubes films are semi-transparent at the visible range of spectra, with electrical resistivity of  $1 \text{ k}\Omega/\square$ .

**Keywords:** screen-printing, electrodes, conductivity, paper, inks

\* Licenciatura em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil;  
[brunobiernaski@alunos.utfpr.edu.br](mailto:brunobiernaski@alunos.utfpr.edu.br)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba; [agmacedo@utfpr.edu.br](mailto:agmacedo@utfpr.edu.br)

## 1 INTRODUÇÃO

Os eletrodos impressos (EIs) apresentam muitas vantagens tais como baixo custo, possibilidade de processamento em grandes áreas, podem ser adaptados e modificados atendendo os requisitos da aplicação final e não requerem equipamentos de alta tecnologia para o processamento (NASCIMENTO; ANGNES, 2016, p. 614-617).

O screen-printing é umas das principais técnicas empregadas na fabricação dos EIs, consiste na impressão de um padrão sobre uma superfície através de uma tela. O eletrodo é produzido geralmente em um suporte fixo, podendo ser de PVC, cerâmica ou alumina, onde o eletrodo é depositado, podendo ser coberto com uma camada de isolante, que é utilizada para separar a superfície do eletrodo do contato elétrico (WRING; HART, 1992, p. 1282-1283).

Li et al. (2012) mostra que uso de tintas caseiras, chamadas na literatura de Homemade inks (HMIs), são uma alternativa as tintas condutivas comuns, já que elas permitem que sejam feitas modificações em sua composição, e com isso, apresentando resultados melhores quando comparados as tintas condutivas normais (NASCIMENTO; ANGNES, 2016, p. 614-617).

Devido à grande versatilidade dos EIs, algumas pesquisas reportam a produção de eletrodos utilizando papel como substrato. O primeiro trabalho que apresentam o papel como uma alternativa aos outros substratos foi publicado por Martinez *et al.* (2017), que apresenta a confecção de um eletrodo impresso em papel hidrofílico, apresentando resultados interessantes, e com isso, outros pesquisadores começaram a estudar o papel como substrato na produção de EIs.

Lamas-Ardisana *et al.* (2016), apresentou em seu trabalho um dispositivo eletroquímico fabricado por screen printing, utilizando o papel como substrato, e em seus resultados, apresenta o papel, embora com algumas dificuldades, como uma opção para a produção de eletrodos.

Cinti *et al.* (2020), relata sobre um sensor de papel eletroquímico feito utilizando screen printing, com o objetivo de detectar fosfato. O projeto, de acordo com o autor, apresenta uma alternativa para a detecção da substância.

Os autores que utilizaram o papel como substrato apresentam em seus resultados que o papel é uma alternativa na produção dos EIs, por apresentar um baixo custo em matéria prima e pela possibilidade de alteração quando necessário.

Este trabalho teve por objetivos:

Objetivo geral:

Processar nanotubos de carbono pelo método de screen printing sobre substratos de PET ou Papel.

Objetivos específicos:

Caracterizar a transmitância dos eletrodos de nanotubos de carbono sobre PET;

Caracterizar a resistência de folha dos eletrodos de nanotubos de carbono sobre PET ou papel.

## 2 MÉTODO E MATERIAIS

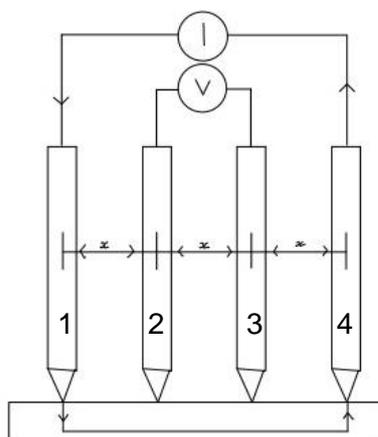
Neste estudo, foram utilizados tela para screen printing com malha de 120 fios por cm<sup>2</sup>, pasta de nanotubos de carbono (Aldrich), polietileno tereftalato (PET) ou papel como substratos.

Os padrões adotados foram eletrodos interdigitados ou concêntricos. Após a deposição, os eletrodos foram secos em ar na temperatura de 80 °C durante 15 minutos.

Os espectros de transmitância dos filmes foram obtidos no espectrofotômetro Kasuaki UV-Vis modelo IL-592-BI do laboratório NANOTEC-NEO nos comprimentos de onda entre 190 a 1000 nm.

A caracterização elétrica foi feita em uma fonte Keithley Série 2400, utilizando o método de quatro pontas para medir a resistência de folha ( $R_s$ ) dos EIs. A técnica foi empregada devido à possibilidade de medir a resistência em diferentes tamanhos de amostras, além de que a resistência de folha é obtida apenas realizado a medição utilizado o método de quatro pontas. O método consiste em quatro pontas alinhadas com mesmo espaçamento ( $x$ ), a corrente ( $I$ ) é aplicada no terminal 1 e recolhida no terminal 4 enquanto a diferença de potencial ( $\Delta V$ ) é medida entre as pontas 2 e 3, como representado na figura (1).

**Figura 1 - Representação esquemática do método de quatro pontas.**



**Fonte: autoria própria.**

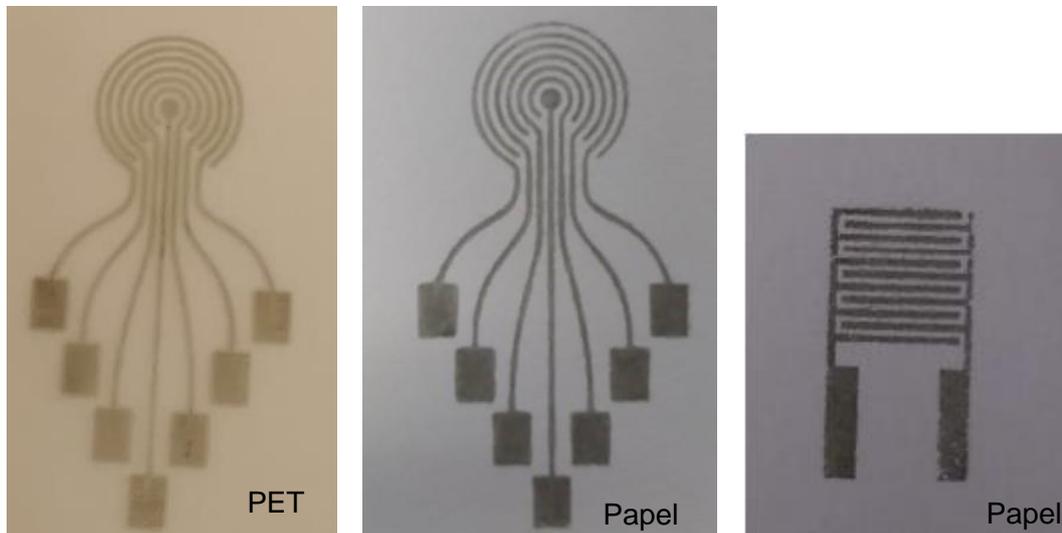
A resistência de folha pode ser calculada por meio da equação (1), onde  $\pi / \ln(2)$  é o fator de correção geométrico que varia com as dimensões da amostra, Miccoli *et al.* (2015).

$$R_s = \frac{\pi}{\ln(2)} \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

### 3 RESULTADOS

Inicialmente, os eletrodos foram produzidos utilizando o método da corrosão. Os resultados obtidos mostraram que as linhas dos eletrodos nem sempre ficavam definidas, e com isso, para resolver o problema, foi utilizado a screen printing para impressão. Algumas fotos dos eletrodos produzidos por screen printing são apresentadas na Figura 2.

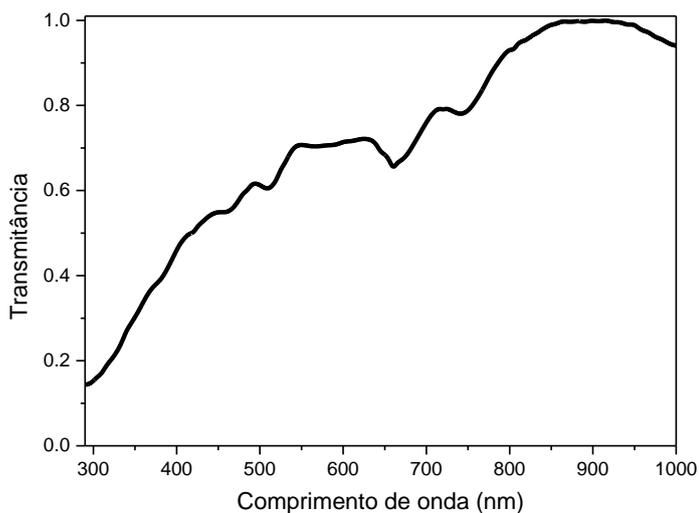
Figura 2 – Eletrodos de nanotubos de carbono sobre substratos de PET e papel.



Fonte: Autoria Própria.

Em algumas aplicações é interessante que o eletrodo, além de condutor, também seja transparente na região do visível, por exemplo, para aplicações em células solares. Portanto, o filme de nanotubos de carbono processado por screen printing sobre PET (padrão contínuo com área 2x2 cm<sup>2</sup>) também foi caracterizado por espectroscopia UV-Vis. A Figura 3 apresenta o espectro de transmitância, indicando transmitância da ordem de 60-80 % entre 400 nm-700 nm. O substrato PET apresenta transmitância > 90 % na região do visível.

Figura3 – Espectro de transmitância adquirido do filme de nanotubo de carbono sobre PET.



Fonte: Autoria Própria.



Com relação a caracterização elétrica, os eletrodos impressos utilizando a tinta à base de nanotubos de carbono apresentou uma resistência de folha da ordem de  $1 \text{ k}\Omega/\square$ , que está dentro das especificações fornecidas pelo fornecedor. Este valor de resistência é aceitável uma vez que são eletrodos processados a partir de solução sobre substratos flexíveis ou porosos, por exemplo o PET e papel, respectivamente, e permite a aplicação em diversos tipos de dispositivos, por exemplo, já vêm sendo testados como eletrodos em eletroterapia ou sensores, ambos com resposta adequada.

Durante a fabricação, algumas dificuldades foram encontradas durante o processo: alguns eletrodos apresentaram falhas do formato definido durante a impressão, a maior parte devido à falta de tinta para completar o padrão, no entanto, outros ficaram borrados devido ao excesso de tinta, isso se dá devido à pressão exercida no rodo durante a primeira vez em a tinta é espalhada, fazendo com haja uma quantidade muito alta de tinta na tela, e com isso a imagem fica borrada.

A solução encontrada para resolver os problemas apresentados está associada técnica empregada na produção, como utilizar uma quantidade de tinta adequada ao tamanho do eletrodo e ao espalhar a tinta com o rodo, utilizar apenas a pressão necessária para cobrir o eletrodo na primeira vez em que a tinta é espalhada. Com isso, podemos obter eletrodos mais uniformes, evitando falhas e com isso melhorar nossa produção de Eis, minimizando as perdas.

#### 4 CONCLUSÃO

O método de screen printing é muito versátil para a produção de eletrodos flexíveis, devido ao baixo custo e processabilidade. Permite que o formato dos eletrodos seja modificado e possibilita a utilização de vários tipos de tintas condutivas e substratos diversos. Os eletrodos produzidos com pasta comercial de nanotubos de carbono apresentam transmitância da ordem de 60-80 % entre 400 nm-700 nm e resistência de folha de  $\sim 1 \text{ k}\Omega/\square$ .

#### AGRADECIMENTOS

Ao apoio financeiro da Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Capes e ao Instituto Serrapilheira, pelo financiamento de equipamentos e material de consumo, utilizados no laboratório. Ao professor Wilson Jose da Silva pelo fornecimento da tinta condutiva e ao doutorando Anderson Emanuel Ximim Gavim pela confecção do padrão de impressão dos eletrodos.

#### REFERÊNCIAS

- NASCIMENTO, Valberes B. e ANGNES, Lúcio. **Eletrodos fabricados por "silk-screen"**. Química Nova [online]. 1998, v. 21, n.5, pp. 614-629.
- WRING, Stephen A., and John P. HART. **Chemically modified, screen-printed carbon electrodes**. *Analyst* 117, no. 8 (1992): 1281-1286.



- LI, Meng, Yuan-Ting Li, Da-Wei Li, and Yi-Tao Long. **Recent developments and applications of screen-printed electrodes in environmental assays—A review.** *Analytica chimica acta* 734 (2012): 31-44.
- MARTINEZ, A. W., PHILLIPS, S. T., BUTTE, M. J., & WHITESIDES, G. M. (2007). **Patterned paper as a platform for inexpensive, low-volume, portable bioassays.** *Angewandte Chemie*, 119(8), 1340-1342.
- LAMAS-ARDISANA, P. J., CASUSO, P., FERNANDEZ-GAUNA, I., MARTÍNEZ-PAREDES, G., JUBETE, E., AÑORGA, L., ... & GRANDE, H. J. (2017). **Disposable electrochemical paper-based devices fully fabricated by screen-printing technique.** *Electrochemistry Communications*, 75, 25-28.
- CINTI, S., MAZZARACCHIO, V., CACCIOTTI, I., MOSCONE, D., & ARDUINI, F. (2017). **Carbon black-modified electrodes screen-printed onto paper towel, waxed paper and parafilm M®.** *Sensors*, 17(10), 2267.
- OSSILA. **Sheet Resistance: A Guide to Theory.** Disponível em: <https://www.ossila.com/pages/sheet-resistance-theory>
- MICCOLI, I. et al. (2015) **The 100th anniversary of the four-point probe technique: the role of probe geometries in isotropic and anisotropic systems,** *J. Phys.: Condens. Matter*, 27, 223201.