

## **DISPOSITIVOS SENSOES PIEZORESISTIVOS DE GRAFITE SOBRE PAPEL EM REGIME DINÂMICO DE FUNCIONAMENTO<sup>1</sup>**

### **GRAPHITE PIEZORESISTIVE SENSORS DEVICES ON PAPER IN DYNAMIC OPERATION REGIME**

**Leandro Calson Dimkoski<sup>2</sup>, Luiz Antonio Rasia<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Projeto de pesquisa desenvolvido na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, no Grupo de Pesquisa em Materiais e Dispositivos (GPMaD).

<sup>2</sup>Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional.

<sup>3</sup>Professor Orientador

## **INTRODUÇÃO**

Com o advento de uma sociedade que demonstra grande conscientização sobre emissão de poluentes a utilização de recursos que não agridem o meio ambiente vem assumindo um papel principal nas escolhas das empresas no desenvolvimento de produtos e processos ecologicamente corretos.

O uso de dispositivos sensores cresce exponencialmente à medida que se integram estes dispositivos em novos produtos na chamada “smart society” a qual emprega os conceitos de IoT - Internet of Things e Wearable Sensors para atender às suas necessidades. Neste cenário, a busca da eficiência dos produtos aplicáveis nas diferentes áreas das engenharias sugerem o desenvolvimento de sensores com materiais alternativos e com características novas em relação aos materiais tradicionais.

Neste trabalho, mostra-se o emprego de materiais de baixo custo e baixo impacto ambiental para a produção de dispositivos sensores usando substratos flexíveis poliméricos de papel com filmes sensores de grafite. Estes dispositivos vem sendo desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa em Materiais e Dispositivos GPMaD/UNIJUI a mais de uma década [1-3, 6-8].

A Figura 1 ilustra a sequência de passos aprimorados pelo GPMaD, a partir do substrato de papel no qual se faz uma deposição do filme de grafite por meio de esfoliação mecânica a partir do processo denominado Graphite on Paper - GoP.



Os dispositivos sensores são constituídos de uma estrutura tipo viga engastada conhecida como cantilever. A alteração da resistência elétrica é monitorada de acordo com a força peso aplicada, através da variação da massa na extremidade livre da viga de acordo com a equação,

$$m (d^2 y)/(dt^2) + b dy/dt + ky = F(t) \quad (1)$$

onde,  $m$ , é a massa do sistema (viga engastada) e  $y(t)$  o deslocamento ou no caso, a deflexão da massa em função do tempo,  $k$ , é constante de rigidez da viga e,  $b$ , coeficiente devido ao meio onde a viga oscila.

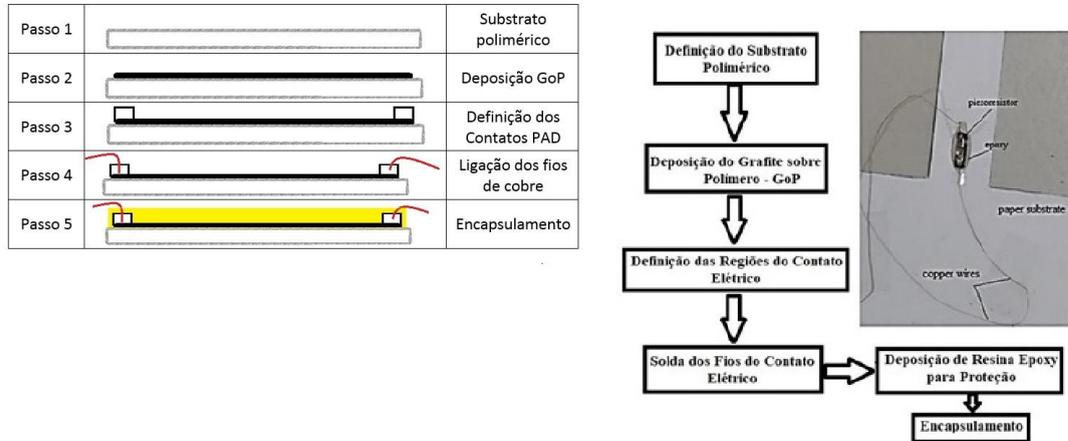
Dispositivos sensores baseados em cantilevers oferecem a possibilidade de medir grandezas e fenômenos que são muito difíceis de alcançar por outros métodos, por isso, são também considerados ferramentas de pesquisa fundamental muito interessantes [3-5].

Os dispositivos sensores podem trabalhar de diferentes modos produzindo informações diferentes e que, quando combinadas, podem ser usadas para obter um conjunto único de dados úteis para uso prático em diferentes áreas, tais como: na medição de esforços e deformações mecânicas, medição e monitoramento da temperatura, pressão, umidade, massa entre outros fenômenos físicos-químicos ou mesmo biológicos [4,5].

## **METODOLOGIA**

O processo de fabricação dos elementos sensores consiste em cinco etapas, como ilustra a Figura 1. Na primeira etapa são definidas as dimensões do substrato de papel, na segunda etapa é feita a deposição mecânica de uma fina camada de grafite, na terceira etapa é definida as regiões dos contatos elétricos, na quarta etapa é executada a solda dos fios de contato e na última etapa é realizado o encapsulamento com resina epoxy, de acordo com os processos definidos nos trabalhos de [9].

Figura 1. Etapas de processo de fabricação e fotografia do dispositivo sensor



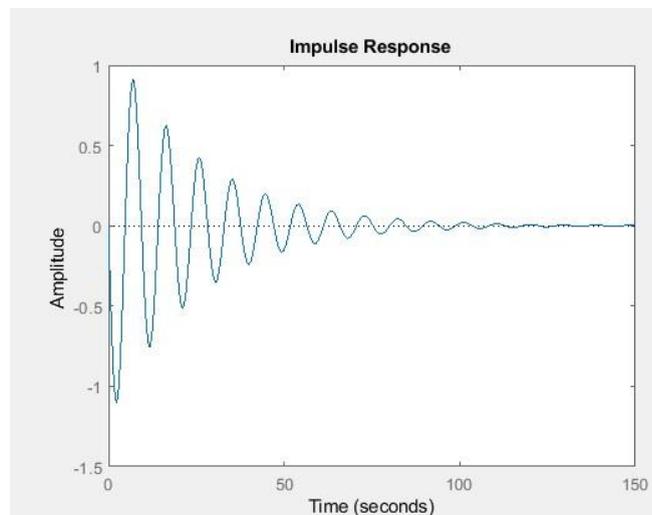
fonte: Adaptado GPMaD

As análises computacionais do regime de funcionamento do dispositivo sensor foram realizadas através do programa Matlab. Nesta etapa, consegue-se prever o movimento da viga, bem como, fazer uma predição exata de como deve ser o comportamento elétrico para as forças aplicadas sobre a viga em situações práticas e funcionais dos dispositivos sensores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra o sistema sensor oscilando com uma massa de 1,234 g e frequência de ressonância de 21,17 rad/s.

Figura 2. Simulação computacional do sistema oscilando no ar.



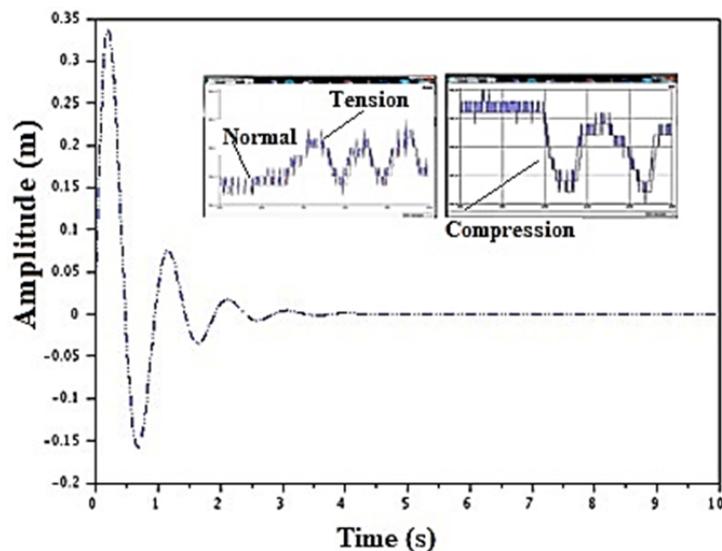
Fonte: Próprio Autor



Nesta simulação ocorre a aplicação de uma força equivalente a massa total desejada, deixando a viga ficar em um movimento senoidal, no ar, até se estabilizar por completo em seu estado natural decorrido um intervalo de tempo. A simulação é necessária para prever o comportamento da viga quando se considera as diferentes variáveis do sistema.

A Figura 3 mostra o comportamento real do dispositivo sensor construído com detalhes internos da aquisição dos sinais de tensão e compressão dos piezoresistores através de um microcontrolador.

Figura 3. Dispositivo sensor piezoresistivo oscilando com parâmetros definidos por simulação.



Fonte: Próprio Autor

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho mostrou o comportamento oscilatório do sistema viga engastada e possibilitou determinar as frequências de ressonância do sistema sensor. O arranjo experimental mostrou os pontos de tensão e compressão, indicando a funcionalidade do dispositivo sensor validando as simulações executadas.

**Palavras-chave:** Viga engastada. Sensores piezoresistivos. Grafite on Paper. Simulação Matemática

### AGRADECIMENTOS



Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de Produtividade Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rasia, L. A., Pedrali, P. C., Valdiero, A. C., Characterization of Piezoresistive Sensors of Graphite on Paper Substrate, 16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Innovation in Education and Inclusion”, 19-21 July 2018, Lima, Peru. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.327>
2. Rasia, L. A., Pedrali, P. C., Furlan, H., Fraga, M. A. Design and characterization of graphite piezoresistors in paper for applications in sensor devices, J. C. Figueroa-García et al. (Eds.): WEA 2019, CCIS 1052, pp. 577–583. Springer Nature Switzerland (2019). Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-31019-6\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-31019-6_48)
3. Luiz Antonio Rasia, Carlos Eduardo Andrades, Thiago Gomes Heck, Julia Rasia. Approach Pencil-on-Paper to Flexible Piezoresistive Respiration Sensor. WEA 2021. Communications in Computer and Information Science, vol 1431. Springer, Cham.
4. BOISEN, Anja, DOHN Søren, KELLER, Stephan Sylvest, SCHMID, Silvan, TENJE, Maria. Cantilever-like micromechanical sensors. Rep. Prog. Phys. 74 (2011) 036101 (30pp) <https://doi.org/10.1088/0034-4885/74/3/036101>
5. REN, Tian-Ling et al. *Flexible graphite-on-paper piezoresistive sensors*. **Sensor**, v.12, n.5, p.6685-6694, 2012.
6. RASIA, L. A. et al. Desenvolvimento e Caracterização de Elementos Sensores Piezoresistivos em Substrato Polimérico. 13º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Lisboa, 2017.
7. Edmilton Stein, Carlos Valdiero, Matias Alles Hubert, Roberta Goergen, Marianna Souza, Luiz Antônio Rasia & Antonio Carlos Valdiero. Development of an Automatic Machine for Sensor Manufacturing by the GOP Technique. In: Pereira, L., Carvalho, J., Krus, P., Klofsten, M., De Negri, V. (eds) Proceedings of IDEAS 2019. IDEAS 2018. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 198. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-55374-6\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-030-55374-6_24)
8. Luiz Antonio Rasia, Carlos Eduardo Andrades, Thiago Gomes Heck, Julia Rasia. Approach Pencil-on-Paper to Flexible Piezoresistive Respiration Sensor. WEA 2021. Communications in Computer and Information Science, vol 1431. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-86702-7\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-030-86702-7_25)
9. BERKENBROCK, R. Caracterização Mecânica, Elétrica e Térmica de Elementos Sensores Piezoresistivos de Grafite com Diferentes Encapsulamentos. (Dissertação de Mestrado). 130f. 2018. <http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/5562>