



## MÁQUINA DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA PARA FACILITAR A PRODUÇÃO DE SENSORES PIEZORESISTIVOS DE PAPEL UTILIZANDO A TÉCNICA *GRAPHITE ON PAPER – GOP*<sup>1</sup>

Mateus Schmitz Neumann<sup>2</sup>, Luiz Antonio Rasia<sup>2,3</sup>, Lucas Schwertner<sup>4</sup>, Rafael Kauã Ceretta<sup>5</sup>, Patricia Carolina Pedrali<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Trabalho de iniciação científica vinculado ao Projeto "Modelagem Matemática de Dispositivos Sensores Piezoresistivos", Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Grupo de Pesquisa: GPMaD - Grupo de Pesquisa em Materiais e Dispositivos, Campus Panambi.

<sup>2</sup> Estudante do curso de Engenharia Mecânica da UNIJUI. Bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Tecnológica financiado pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - PIBITI/UNIJUI.

<sup>3</sup> Professor Doutor do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias e Orientador.

<sup>4,5</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica, bolsistas PIBIC/PIBIT/CNPq/FAPERGS/ UNIJUI.

<sup>6</sup> Professora Doutora do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias e Pesquisadora do GPMaD - Grupo de Materiais e Dispositivos da UNIJUI

### INTRODUÇÃO

Os sensores piezoresistivos têm sido amplamente utilizados em uma variedade de aplicações devido à sua alta sensibilidade, resposta rápida e capacidade de operar em condições adversas. No entanto, a fabricação tradicional desses sensores pode envolver processos complexos e custosos, que limitam sua aplicabilidade em algumas áreas.

Nesse contexto, a fabricação de sensores piezoresistivos com a técnica **Graphite on Paper (GoP)** tem despertado interesse. Essa técnica consiste na esfoliação mecânica de grafite sobre o papel, criando um material condutor que pode ser utilizado como elemento piezoresistivo. Essa abordagem oferece vantagens significativas, como baixo custo, simplicidade de fabricação e flexibilidade de design RASIA, et al. (2017) e PEDRALI, et al. (2018).

A utilização do papel como substrato para sensores piezoresistivos permite a produção de dispositivos de baixo custo, que podem ser integrados em diferentes aplicações. Além disso, a técnica GoP oferece a possibilidade de fabricação rápida de protótipos e a adaptação das propriedades dos sensores de acordo com as necessidades específicas de cada aplicação, ERDIL, K. et al. (2019).

A aplicação da técnica **GoP** na fabricação de sensores piezoresistivos em papel tem potencial para impulsionar a inovação nesse campo, tornando esses dispositivos mais



acessíveis e viáveis para uma variedade de aplicações industriais, médicas, agrícolas, automotivas, entre outras. A combinação da busca por novas tecnologias, como a técnica **GoP**, e a redução de custos de produção é fundamental para impulsionar o avanço e a adoção de sensores piezoresistivos nessas áreas, permitindo medições mais precisas, maior eficiência e novas oportunidades de desenvolvimento tecnológico de baixo custo e impacto ambiental.

Através da pesquisa e desenvolvimento, compreende-se a elaboração de uma máquina para prototipagem rápida de dispositivos sensores de baixo custo com precisão e desempenho satisfatório, com o intuito de tornar possível a sua aplicação em futuros trabalhos acadêmicos ou mesmo em pesquisa, desenvolvimento e inovação tecnológica - PD&I dentro do ambiente fabril STEIN, et al. (2021).

## **METODOLOGIA**

A metodologia escolhida envolveu diversas etapas para a construção de uma máquina de prototipagem rápida de elementos sensores. A primeira etapa consistiu em realizar uma revisão bibliográfica sobre os conceitos e tecnologias relacionados à prototipagem rápida e fabricação de elementos sensores.

Em seguida, foi realizada a modelagem do equipamento no software CAD SolidWorks. Utilizando as especificações e requisitos estabelecidos, foi criado o projeto detalhado da máquina. Isso permitiu visualizar a estrutura, os componentes e os sistemas de acionamento necessários para o funcionamento.

Após a etapa de modelagem as peças foram exportadas para o software Ultimaker Cura, onde foram realizadas as operações de fatiamento, ou seja, a divisão do modelo em camadas para posterior impressão 3D. Em seguida, as peças foram produzidas utilizando uma impressora 3D Ender 6. A escolha dessa tecnologia de fabricação aditiva se deu devido à sua capacidade de produzir peças com alta precisão e complexidade geométrica.

Por fim, a montagem da máquina é realizada utilizando perfis de alumínio, que proporcionam uma estrutura resistente e de fácil montagem. Os perfis foram cortados e preparados de acordo com as especificações do projeto e, em seguida, foram montados, a partir de conectores rápidos, para agilizar a montagem, formando assim a estrutura principal da máquina. A fixação das peças impressas, componentes eletrônicos e sistemas de acionamento foi realizada de forma cuidadosa e precisa, manualmente.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A modelagem 3D, no software CAD permitiu a criação detalhada do projeto, com a definição precisa das dimensões e características das peças necessárias para a montagem. Essa etapa foi fundamental para garantir a compatibilidade e o encaixe perfeito das peças, proporcionando uma estrutura sólida e estável.

A impressão 3D das peças, foi uma etapa essencial na materialização do projeto. Essa tecnologia permitiu a fabricação precisa das peças com geometrias complexas, garantindo a funcionalidade e o desempenho esperados. A escolha da impressora 3D adequada e o uso de materiais de qualidade foram determinantes para obter peças duráveis e com bom acabamento.

Figura 1 - Impressão das barras roscadas dentro de suportes auxiliares de sustentação

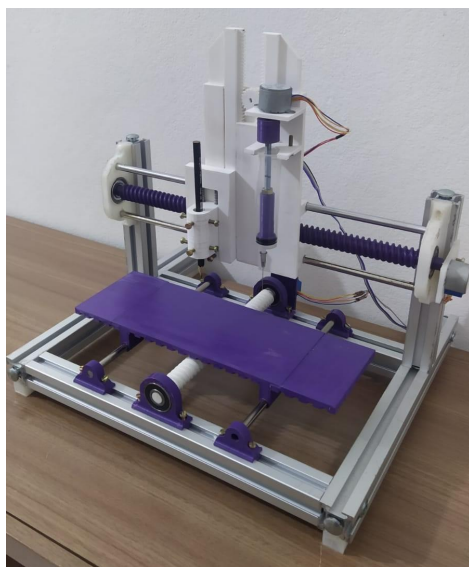


Fonte: Autor (2023)

A montagem da máquina utilizando perfis de alumínio proporcionou uma estrutura resistente, leve e de fácil montagem. Os mesmos, foram selecionados para garantir a estabilidade e o bom funcionamento da máquina durante as operações de esfoliação mecânica e deposição. A utilização de conectores rápidos próprios para os perfis de alumínio facilitou a montagem e desmontagem da estrutura, possibilitando ajustes e modificações quando necessário.

A combinação desses elementos resultou em uma máquina robusta e de alta qualidade, capaz de realizar as operações de esfoliação mecânica e deposição de forma precisa e controlada. A estrutura em alumínio proporcionou estabilidade durante os movimentos dos eixos, evitando vibrações indesejadas e garantindo a precisão necessária para a fabricação dos elementos sensores.

Figura 2 - Montagem final do equipamento



Fonte: Autor (2023)

Em resumo, a metodologia empregada na construção da máquina para prototipagem rápida de elementos sensores, envolvendo a modelagem 3D, a impressão 3D das peças e a montagem com perfis de alumínio, mostrou-se eficiente e bem sucedida.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção deste equipamento para a fabricação de elementos sensores apresenta resultados promissores e contribui para avanços significativos nessa área. A máquina desenvolvida possui dois eixos de movimento e um sistema de acionamento, equivalente ao terceiro eixo, permitindo assim, a utilização de duas ferramentas distintas: um lápis 2B para a esfoliação mecânica e uma seringa para a deposição de material polimérico.

A técnica Graphite on Paper (GoP), é um exemplo de avanço tecnológico que permite a produção de sensores de forma mais acessível e eficiente. A utilização da GoP permite a

fabricação de sensores em papel, oferecendo diversas vantagens, como baixo custo, se comparado aos tradicionais de silício, como a facilidade de processamento.

A construção de uma máquina 3D para prototipagem rápida de elementos sensores utilizando uma estrutura de perfis de alumínio, aliada à utilização da técnica GoP, apresenta-se como uma solução promissora para a produção de sensores de forma mais acessível e eficiente.

**Palavras-chave:** *Graphite on Paper*. CNC. Sensores. Manufatura Aditiva.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UNIJUI, FAPERGS e ao CNPq pelo apoio financeiro na forma de bolsas de iniciação científica e tecnológica.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

RASIA, L. A.; PEDRALI, P. C.; VALDIERO, A. C.; FRAGA, M. A.; HUMBER, F. Desenvolvimento e caracterização de elementos sensores piezoresistivos em substrato polimérico. 13º Congresso Ibero-americano de Engenharia Mecânica. Lisboa, Portugal, 23-26 de Outubro de 2017. Disponível em: <[https://www.academia.edu/download/60815782/983.DESENVOLVIMENTO\\_E\\_CARACTERIZACAO\\_DE\\_ELEMENTOS20191006-75822-f3x2qg.pdf](https://www.academia.edu/download/60815782/983.DESENVOLVIMENTO_E_CARACTERIZACAO_DE_ELEMENTOS20191006-75822-f3x2qg.pdf)>. Acesso em: 1 de maio de 2023.

PEDRALI, Patricia Carolina et al. Graphite Piezoresistive Sensors in Polymeric Substrates International Journal of Advanced Engineering Research and Science, [s.l.], v. 5, n. 10, p.105-109, 2018. AI Publications. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.22161/ijaers.5.10.14>>. Acesso em: 1 de maio de 2023.

ERDIL, K. et al. Perforated paper-based piezoresistive force sensor. In: . [S.l.: s.n.], 2019.p. 289–292.

Stein, E. et al. (2021). 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).