



## ACIONAMENTO E CONTROLE DE UMA MÁQUINA CNC PARA DEPOSIÇÃO DE SENSORES DE GRAFITE SOBRE POLÍMEROS <sup>1</sup>

Lucas Schwertner<sup>2</sup>, Luiz Antonio Rasia<sup>3</sup>, Mateus Schmitz Neumann<sup>4</sup>, Rafael Kauã Ceretta<sup>5</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>2,4,5</sup> Estudante do curso de Engenharia Mecânica da UNIJUÍ. Bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Tecnológica, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - PIBIC/CNPq/UNIJUÍ.

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

### INTRODUÇÃO

A responsabilidade ambiental vem ganhando relevância por meio da implementação da agenda ESG - *Environment, Social and Governance*, com isso a indústria de tecnologia vem buscando alternativas aos materiais tradicionalmente utilizados na fabricação de eletrônicos e sensores. Os constantes avanços na área da computação beneficiam-se, principalmente, do desenvolvimentos de redes neurais e I.A's - Inteligências Artificiais, as quais trouxeram consigo a massificação da utilização de sensores nas mais diversas aplicações.

A popularização de dispositivos inteligentes e IoT - *Internet of Things* traz consigo, benefícios e comodidade ao dia a dia das pessoas. Os *Wearables Devices* - WD estão se popularizando, permitindo, por exemplo, o monitoramento em tempo real da frequência cardíaca (ECG), dados que são interpretados localmente pelo próprio dispositivo, utilizando I.A e fornecendo diagnósticos antecipados de problemas cardíacos ou informado que o nível de stress da pessoa está elevado [1].

Atualmente, estes dispositivos e sensores utilizam, principalmente, o Silício em sua fabricação, gerando um grande impacto ambiental. Neste cenário, os sensores baseados em grafite emergem como uma alternativa sustentável, de baixo custo e biodegradável, solucionando o grande problema causado pela cadeia de processamento do Silício e minimizando o impacto ambiental gerado pela evolução tecnológica.

Para tal, os sensores obtidos através do processo de esfoliação mecânica de grafite em substrato polimérico "GoP"- *Graphite on Paper*, necessitam alcançar um nível de excelência,



o que se traduz em minimizar a influência dos erros inerentes a fabricação manual utilizando para esta finalidade máquinas numericamente controladas “CNC” [2-4].

## METODOLOGIA

A máquina CNC foi construída utilizando uma estrutura de perfis de alumínio. Conta com três graus de liberdade ( $x, y, z$ ). Nos eixos  $x$  e  $y$ , o acionamento é feito por meio de motores de passo acoplados a um sistema de movimentação mecânico que utiliza o mecanismo de fuso e bucha. Para o alinhamento dos eixos são utilizados dois guias lineares em cada eixo. No eixo  $z$ , estão montados dois dispositivos, sendo eles: uma porta lapiseira para a deposição do grafite e uma seringa para a deposição de do polímero de encapsulamento. Estes estão fixados a um sistema de guias lineares e cremalheiras, acionados por um motor de passo, por meio de um pinhão central que movimenta os dois dispositivos em sentidos opostos.

Com exceção dos guias lineares, rolamentos e estrutura, os demais componentes foram fabricados por meio de Manufatura Aditiva - MA utilizando polímero biodegradável PLA - Ácido Polilático. A utilização da impressão 3D foi fundamental para a redução dos custos de fabricação do equipamento.

O acionamento dos três graus de liberdade é feito por meio de motores de passo 28BYJ48, assim como, o acionamento da seringa. Estes motores são comandados por *drivers* ULN2003 que fazem o chaveamento das fases do motor por meio de sinais digitais enviados do microcontrolador arduino mega 2560.

Para a interpretação do código de máquina e a comunicação com o microcontrolador foi utilizado o *software* de código aberto GRBL, o qual é executado em um computador pessoal conectado via porta serial com o microcontrolador, uma vez que este GRBL é um firmware que comunica com o controle da CNC.

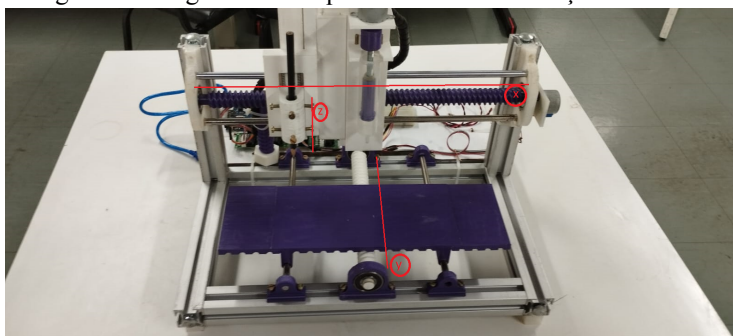
A alimentação dos *drivers* é feita por meio de uma fonte de bancada configurada em 5 V, sendo esta a tensão máxima de operação dos motores de passo. O microcontrolador é alimentado pelo cabo de conexão serial, sendo necessário a conexão do GND dos *drivers* com o microcontrolador para garantir que todo o sistema funcione com a mesma referência.

Para o correto funcionamento do equipamento é necessário definir os parâmetros referentes às características do dispositivo, como a taxa de avanço do eixo por passo de avanço do motor de passo e o alcance máximo dos eixos para evitar auto-colisões.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, são mostrados os eixos da máquina, sendo eles o eixo  $y$ , que movimenta a base do dispositivo, o eixo  $x$  montado horizontalmente na coluna vertical da máquina e o eixo  $z$  composto por um mecanismo com duas ferramentas que, quando movimentadas, avançam em sentidos opostos por conta do acionamento ser comum para ambas as estruturas.

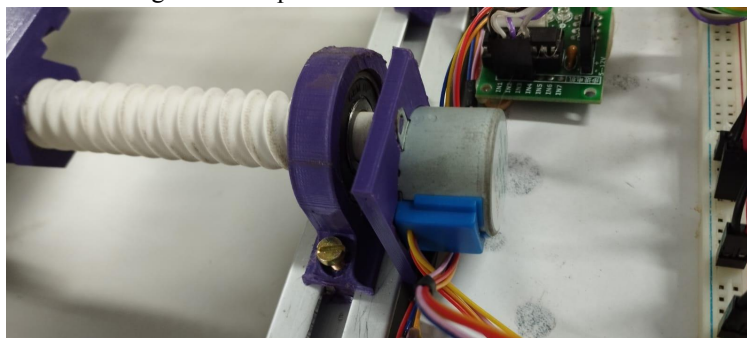
Figura 1: Fotografia da máquina CNC com indicação dos eixos.



Fonte: Autor.

A Figura 2 mostra o sistema de mancais rolamentados e o flange de fixação para o motor de passo do eixo  $y$  e o mesmo sistema é aplicado para o eixo  $x$ .

Figura 2: Acoplamento dos atuadores aos eixos

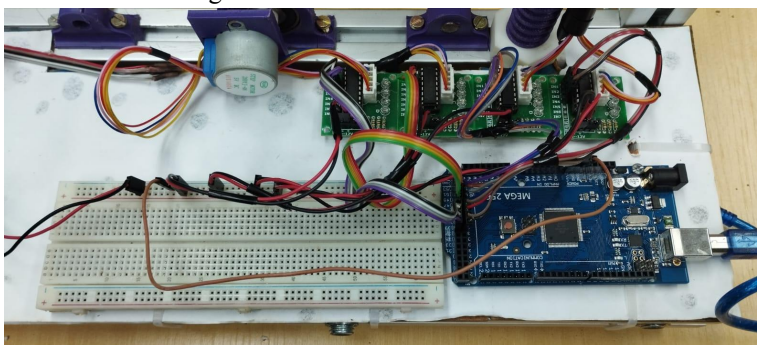


Fonte: Autor.

A Figura 3 mostra a montagem da eletrônica de controle da máquina composta por quatro *driver* ULN2003 uma para cada eixo sendo o quarto motor responsável pelo acionamento da seringa de deposição de resinas.

A interface de comunicação é feita por meio de um cabo USB que, quando conectado a uma porta do computador pessoal, abre um canal de comunicação serial com o microcontrolador, por onde os comandos interpretados pelo *software* GRBL do código de máquina a ser executado. Os códigos são transmitidos e executados pelo microcontrolador que, por sua vez, comunica aos *drivers* a sequência de comutação das fases do motor para o correto acionamento [5-7].

Figura 3: Microcontrolador e *drivers*.



Fonte: Autor.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, ficou clara a vantagem apresentada por máquinas CNC quando a aplicação requer precisão e reprodutibilidade. Por unir as ferramentas para deposição do grafite e posterior encapsulamento do dispositivo sensor. Estes procedimentos possibilitam a fabricação em um ambiente com atmosfera controlada, minimizando a influência da umidade e temperatura no processo dos sensores que usam a técnica GoP. Estes fatores permitem a produção de sensores uniformes e viabilizam o início da produção em série para a ampliação das pesquisas relacionadas às aplicações deste tipo de sensor.

**Palavras-chave:** CNC. Piezoresistores. Arduino. Impressão 3d.

## AGRADECIMENTOS

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



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. SHU, Y.-S. et al. 26.1 A 4.5mm<sup>2</sup> Multimodal Biosensing SoC for PPG, ECG, BIOZ and GSR **Acquisition in Consumer Wearable Devices**. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/9063112>>. Acesso em: 25 jul. 2023.
- [2]. ANDRADES, Carlos Eduardo. **Modelagem Matemática e Aperfeiçoamento Das Técnicas de Caracterização de Elementos Sensores de Grafite**. 2019. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Modelagem Matemática, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2019.
- [3]. RASIA, L.A., Schwertner, L., Pedrali, P.C., Rasia, J. (2022). **Simulation and Prototype of Flexible Sensor Devices Using Graphite on Paper Substrate**. In: Figueroa-García, J.C., Franco, C., Díaz-Gutierrez, Y., Hernández-Pérez, G. (eds) Applied Computer Sciences in Engineering. WEA 2022. Communications in Computer and Information Science, vol 1685. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20611-5\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20611-5_31)
- [4]. RASIA, Luiz Antônio et al. **Desenvolvimento e Caracterização de Elementos Sensores Piezoresistivos em Substrato Polimérico**. 13º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Lisboa, 2017. Franco, C., Díaz-Gutierrez, Y., Hernández-Pérez, G. (eds) Applied Computer Sciences in Engineering. WEA 2022. Communications in Computer and Information Science, vol 1685. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20611-5\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20611-5_31)
- [5]. AZEVEDO, A. L. **Fundamentos do CNC para Usinagem**. [S.l.]: [s.n.], 2006. Disponível em: <[http://www.mundocnc.com.br/livrocnc/Fundamento1-FUNDAMENTOS\\_DO\\_CNC\\_PARA\\_USINAGEM.pdf](http://www.mundocnc.com.br/livrocnc/Fundamento1-FUNDAMENTOS_DO_CNC_PARA_USINAGEM.pdf)>.
- [6]. CARDOZO, W. S. **Controle de Motores de Passo em Malha Fechada**. PUC-Rio. Rio de Janeiro, p. 115. 2012.
- [7]. GOELLNER, E. **Ferramenta computacional para acionamento de motores de passo aplicados ao projeto de equipamentos CNC**. UFSM. Santa Maria - RS, p. 100. 2006.
- [8]. RASIA, Luiz Antônio et al. **Desenvolvimento e Caracterização de Elementos Sensores Piezoresistivos em Substrato Polimérico**. 13º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Lisboa, 2017.