

# DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE UM BRAÇO ROBÓTICO PARA MONTAGEM DE FILMES FINOS PELA TÉCNICA CAMADA-A-CAMADA

Palavras-Chave: INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA, FILMES FINOS, POLÍMEROS

Autores(as):

HENRIQUE DE SORDI, IFGW – UNICAMP

Prof<sup>(a)</sup>. Dr<sup>(a)</sup>. VARLEI RODRIGUES (orientador(a)), IFGW - UNICAMP

---

## INTRODUÇÃO:

Com o desenvolvimento de técnicas de deposição de polieletrólitos cada vez mais avançadas, a tecnologia de filmes finos se difundiu amplamente no meio científico e industrial e hoje possui diversas aplicações. Dentre seus diversos métodos de fabricação, a técnica camada-a-camada, conhecida como *Layer-by-Layer* ou *LbL*, se destaca por sua facilidade de aplicação e baixos custos ao mesmo tempo que entrega resultados de alta qualidade para aplicações na produção científica.

Porém, se trata de um procedimento que demanda tempo e numerosas etapas, além de ter sua reprodutibilidade prejudicada quando sujeito a intervenção humana. Diante deste cenário, automatizar o processo oferece a possibilidade de contornar tais problemas e aumentar a eficiência do processo como um todo. Para isso, foi escolhido desenvolver um braço robótico SCARA e adaptá-lo para que possa ser integrado a produção de filmes finos por *LbL*.

O SCARA (*Selective Compliance Assembly Robot Arm*) consiste em um braço robótico que pode rotacionar ao longo de dois eixos, além de poder se mover no eixo da vertical, com uma garra giratória e adaptável em sua extremidade, o que confere extrema versatilidade a seus movimentos. Seu sistema é inteiramente controlado por uma associação de uma placa Arduino com uma CNC Shield e drivers para comandar cada motor de passo.

## METODOLOGIA:

Inicialmente ocorreu uma etapa de estudo da metodologia *LbL* e de artigos já desenvolvidos dentro do grupo de pesquisa. Associado a esta etapa, também foram pesquisados projetos *open hardware* que pudessem servir de base para o desenvolvimento do robô. Ao fim da etapa de pesquisa, o trabalho usado de base ficou definido como o projeto do SCARA do site *How to Mechatronics*, por se enquadrar melhor ao perfil do projeto.

Com os rumos do projeto definidos, a construção do braço se iniciou pela impressão 3D das peças estruturais em PETG, material escolhido por sua maior resistência em relação aos filamentos comerciais mais comuns. Antes de utilizar as impressoras do IFGW, foi necessário realizar um curso de impressão online disponibilizado pelo próprio instituto. Foram usadas duas impressoras do instituto (*Sethi3D S4X* e *Sethi3D S3*) e uma impressora desenvolvida pelo próprio grupo ao longo do processo, todas utilizando o método FDM (*Fused Deposition Modeling*). Ao todo foram mais de 50 peças impressas, com tempo de impressão de cada uma variando de minutos a mais de 21 horas.

Durante o processo de impressão, foram enfrentados diversos problemas que atrasaram o andamento do projeto. Inicialmente, os suportes gerados para as peças apresentaram resultados insatisfatórios, o que foi resolvido migrando do fatiador *Repetier* para o *Kisslicer* o que também forneceu uma redução no tempo de impressão de cerca de 20%. Um novo empecilho surgiu quando o filamento dos carretéis de PETG começou a impedir a impressão devido a nós em seu meio, o que tornava necessário estar ao lado da impressora durante todo o tempo de impressão para soltá-los e impossibilitava a fabricação de peças com grande tempo de impressão, resolvido apenas com a compra de novas unidades. Além disso, a impressora *Sethi3D S4X* apresentou diversos problemas de funcionamento, fazendo com que fosse necessário usar a impressora do grupo para fazer as peças menores e a *Sethi3D S3* para as peças maiores.



Figura 1: Peças de PETG utilizadas no robô.

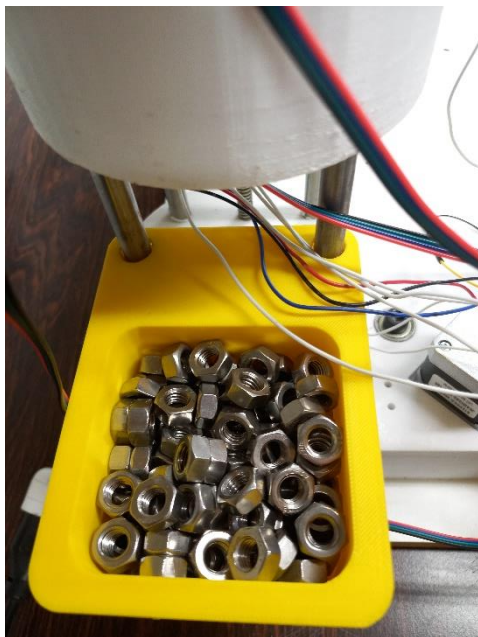


Figura 2: Protótipo de contrapeso em PLA.

Em posse de todas as peças, a montagem mecânica do SCARA foi iniciada. Algumas adaptações foram necessárias ao longo da montagem, como projetar e adicionar um contrapeso na junta conectada à base do robô, uma vez que o centro de massa do braço ficou deslocado em relação ao seu eixo vertical. Ainda também será necessário reprojeter o formato da garra, pois sua versão original é muito grande para manipular as placas usadas no *LbL*.

Como última etapa para que o robô possa funcionar, os componentes eletrônicos foram implementados. A eletrônica consiste em 4 motores de passo NEMA17 para controlar as juntas do robô e sua movimentação ao longo da vertical, 1 motor MG996R para controlar a garra, 4 sensores de fim de curso, um para cada grau de liberdade controlado pelos NEMAs, uma fonte de 10V, uma placa Arduino UNO, uma

CNC Shield e 4 drivers A4988. Fios e conectores foram soldados nos sensores de fim de curso e os drivers tiveram sua corrente regulada através de um circuito auxiliar. Para a fonte de 10V que alimenta a CNC Shield, foi necessário projetar uma proteção de impressão 3D por segurança e soldar seus fios adequadamente à entrada para a alimentação.



Figura 3: Fonte de 10V adaptada para o circuito.

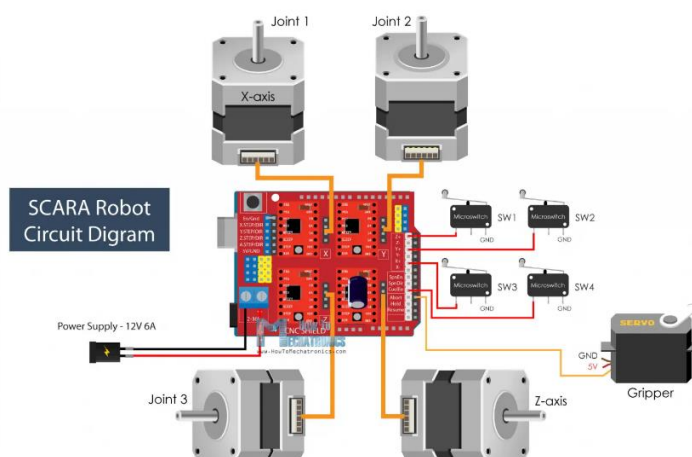


Figura 4: Diagrama do circuito utilizado no projeto original (Imagem retirada de <https://howtomechatronics.com/projects/scara-robot-how-to-build-your-own-arduino-based-robot/>)

Em princípio, enviar o código para o Arduino e ligar a fonte da CNC Shield deveria logo fazer com que o robô executasse o processo de homing, movendo suas peças até que encontrassem os sensores de fim de curso. Porém problemas foram observados na primeira tentativa, como motores que não moveram as peças e um deles que apresentou um nível de ruído anormal. Para avaliar tal condição, cada motor foi testado individualmente na CNC Shield junto de um sensor de fim de curso para interromper seu movimento. Um código em Arduino foi usado para controlar os motores a partir de comandos fornecidos por um código em Python. A partir dos testes notou-se que o motor que estava com ruído estava com problemas de funcionamento e, além disso, os sensores de fim de curso foram soldados de forma a formar um aberto quando pressionados e um curto quando soltos, comportamento oposto ao esperado pelo código original, o que foi resolvido com a substituição do motor defeituoso e adaptações no código base do braço para interpretar curto como aberto e vice-versa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Com as adaptações finais executadas até o momento, o SCARA encontra-se inteiramente montado e apto ao funcionamento. A adição de uma fonte de 9V conectada ao Arduino permitiu seu funcionamento mesmo desconectado do computador. Testes do processo de homing revelaram problemas na parada do movimento no eixo vertical ao atingir o fim de curso, o que está sendo investigado com a revisão da eletrônica e código.

Em seu estado atual, é possível controlá-lo com um programa na linguagem Processing, fornecido pelo autor do projeto original, para executar movimentos simples a partir do fornecimento de coordenadas e inclusive gravar trajetórias para serem executados automaticamente.

Ainda serão necessários ajustes em sua parte mecânica, como a elaboração de novas garras, próprias ao substrato do *LbL*, e um novo contrapeso, um pouco mais

longo para compensar o desbalanço de peso do projeto original, uma vez que o primeiro estava curto demais. O código que opera o braço também sofrerá alterações, uma vez que o atual permite um controle menos sofisticado e o novo deverá permitir a execução do *LbL* como um todo. Também está em análise a implementação de um código em Python para enviar comandos diretamente ao braço como feito nos testes dos motores.

Uma vez que o SCARA se encontre dentro das condições de operação desejadas, a execução do *LbL* e caracterizações ópticas com o uso de LEDs serão finalmente executadas e uma rotina de funcionamento automático implementada. Ainda também será estudada sua integração a um UV-Vis para incrementar as caracterizações ópticas, o que demandará uma nova etapa de programação.

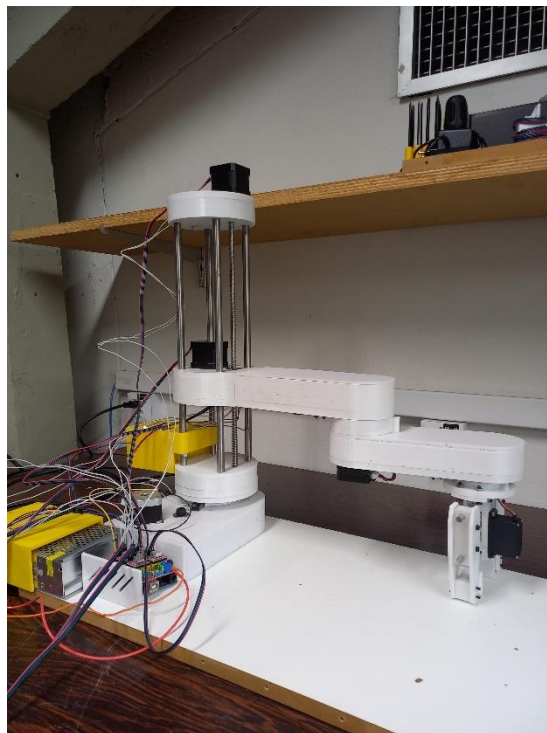


Figura 5: Braço robótico SCARA em seu estado atual.

## CONCLUSÕES:

Com a aproximação dos estágios finais do projeto, uma ferramenta extremamente versátil vem tomando forma com o fim da execução da ideia original e grandes possibilidades de customização para atender as demandas do *LbL* ficam evidentes. Através de cada etapa, muito pode ser aprendido, desde a fabricação de filmes finos como objetivo final até todos os métodos de instrumentação científica utilizados na criação do robô. Impressão 3D, projeto mecânico, elaboração de circuitos e programação em diferentes linguagens constituíram um papel central na implementação e adaptação de cada ideia, fornecendo ampla liberdade na execução do projeto conforme seu objetivo.

Em seu estado atual, o SCARA, agora operacional, entra em etapa de testes que serão sucedidas por um período de alterações. Uma vez apto a executar o *LbL*, procedimentos experimentais serão executados, com ênfase na produção dos filmes finos e sua caracterização, que, com as calibrações necessárias, o tornará finalmente implementável para uso real e rotineiro em laboratório de pesquisa.

---

## BIBLIOGRAFIA

BRAUNGER, M. L. et al. **Influence of the Flow Rate in an Automated Microfluidic Electronic Tongue Tested for Sucralose Differentiation.** *Sensors*, v. 20, n. 21, p. 6194, 30 out. 2020.

DEJAN. **SCARA Robot | How To Build Your Own Arduino Based Robot.** Disponível em: <<https://howtomechatronics.com/projects/scara-robot-how-to-build-your-own-arduino-based-robot/>>.

EMILIA, M. et al. **Sistema automático de abertura de fonte radioativa em laboratório de ensino.** *Revista Brasileira de Física Médica*, v. 7, n. 3, p. 195–198, 1 jan. 2013.

GAAL, G. et al. **Simplified fabrication of integrated microfluidic devices using fused deposition modeling 3D printing.** *Sensors and Actuators B: Chemical*, v. 242, p. 35–40, abr. 2017.

GAÁL, G. et al. **3D Printed e-Tongue.** *FRONTIERS in CHEMISTRY*, v. 6, 3 maio 2018.

HENSEL, R. C. et al. **Automated self-assembly and electrical characterization of nanostructured films.** *MRS Communications*, v. 8, n. 2, p. 283–288, 2 abr. 2018.

PATERNI, L. G.; MATTOSO, L. H. C.; OLIVEIRA JR., O. N. DE. **Filmes poliméricos ultrafinos produzidos pela técnica de automontagem: preparação, propriedades e aplicações.** *Química Nova*, v. 24, n. 2, p. 228–235, abr. 2001.

RICHARDSON, J. J.; BJÖRNMALM, M.; CARUSO, F. Multilayer assembly. **Technology-driven layer-by-layer assembly of nanofilms.** *Science (New York, N.Y.)*, v. 348, n. 6233, p. aaa2491, 24 abr. 2015.