

AUTOMAÇÃO DOS MOVIMENTOS DO AERÓGRAFO UTILIZADO NO PROCESSO DE *AIRBRUSHING* APLICADO NA ENGENHARIA TECIDUAL¹

Caio Cesar Jacob Silva²

Mestrando IFSP/Campus São Paulo

Docente IFSP/Campus Registro

Júlio César Domingues³

Técnico em Mecatrônica IFSP/Campus Registro

Rogério Domingues⁴

Técnico em Mecatrônica IFSP/Campus Registro

Bruno Santos⁵

Tecnólogo em Automação Industrial IFSP/Campus São Paulo

Tarcísio Fernandes Leão⁶

Doutor/USP

Docente IFSP/Campus São Paulo

72

RESUMO

A produção de arcabouços para cultura celular, na engenharia de tecidos, pode ser realizada através da técnica de *airbrushing*, que consiste na injeção de uma solução polimérica e um gás comprimido em um bico ejetor. Essa mistura é projetada em um anteparo e a matriz polimérica é formada. Atualmente este processo é realizado manualmente, o que não garante repetibilidade das matrizes produzidas. Este projeto propõe um sistema automatizado para a movimentação do aerógrafo utilizado para espelir a solução polimérica. Essa automatização garantirá precisão e repetibilidade dos movimentos o que poderá fornecer melhores resultados na estrutura produzida. Para isso, utiliza-se uma estrutura adaptada de uma impressora 3D acoplada a motores de passo, que são controlados por drivers específicos.

Palavras-chave: Arcabouços. *Airbrushing*. Automação.

¹ Este trabalho é parte da pesquisa “Automação do processo de *airbrushing* utilizado na produção de arcabouços para engenharia tecidual”, do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Automação e Controle de Processos do IFSP – Campus São Paulo.

² Endereço eletrônico: caiocjacob@gmail.com

³ Endereço eletrônico: juliocsr_10@hotmail.com

⁴ Endereço eletrônico: rogerio89_domingues@hotmail.com

⁵ Endereço eletrônico: bm-login@hotmail.com

⁶ Endereço eletrônico: leao.tarcisio@gmail.com

Introdução

Bioengenharia voltada à medicina regenerativa procura controlar e ampliar a capacidade natural da regeneração de tecidos, buscando condições ideais de reparo, regeneração e/ou substituição dos tecidos lesados, podendo fornecer elementos celulares requeridos, fatores de proliferação e diferenciação celular (gerando quantidade suficiente de células novas) e estruturas supramoleculares (organização espacial funcional de novos tecidos gerados). Uma das etapas de ação que a medicina regenerativa engloba é a manipulação ex vivo (o DNA é primeiramente transferido para células isoladas de um organismo, previamente crescidas em laboratório) de células do próprio paciente, sua expansão, diferenciação e integração potencial em estruturas ordenadas superiores, que serão reintroduzidas nas regiões lesadas e integradas no processo de regeneração (BOROJEVIC, 2008).

A engenharia tecidual permite recriar, industrialmente, tecidos e órgãos sintéticos ou semissintéticos funcionais, atuando como uma ferramenta da medicina regenerativa, disponibilizando alternativas eficientes aos médicos para o tratamento de doenças graves, cujo transplante ou enxerto sejam as únicas saídas, obtendo resultados promissores. Células-tronco mesenquimais (MSCs), associadas a *scaffolds* (arcabouços), tem sido utilizadas no reparo de diversos tecidos e órgãos. Estudos buscam esclarecer os mecanismos de isolamento, manutenção das células in vitro, interação das células com os arcabouços e indução da diferenciação (CHAMBERLAIN *et al*, 2008).

Arcabouços são matrizes tridimensionais, geralmente produzidos por polímeros, utilizadas como suporte para o cultivo de células na engenharia tecidual. Desempenham a função da matriz extracelular do tecido em questão, orientando o crescimento das células. (MA, 2004).

Atualmente um processo que produz o arcabouço, na engenharia tecidual, é o sistema de *airbrushing*. Para confeccionar a matriz, esta técnica expõe uma solução polimérica – utilizando um aerógrafo (bico de injeção) – num anteparo localizado à sua frente. Porém este processo é realizado de maneira manual o que não garante a sua repetibilidade.

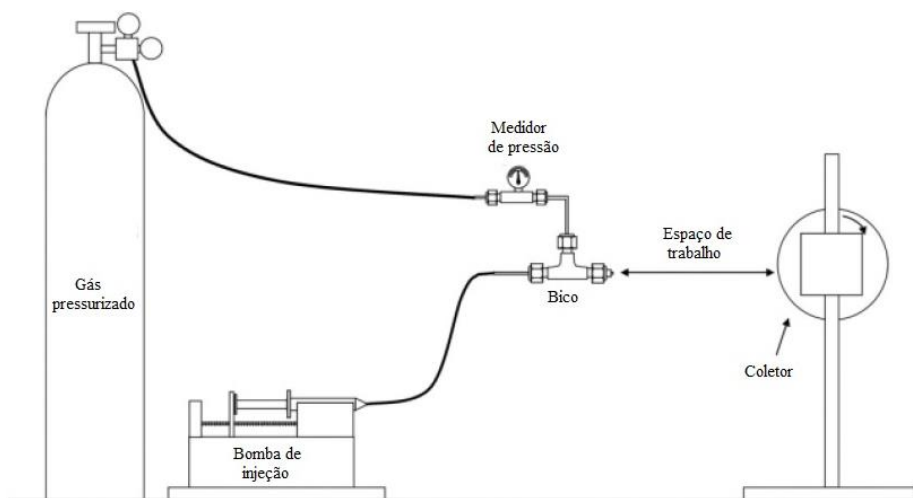
Esse projeto consiste em desenvolver a automação da movimentação do aerógrafo utilizado na técnica de *airbrushing*, visando garantir a exatidão e a precisão dos movimentos realizados na fabricação dos arcabouços.

Processo de *Airbrushing*

Como mencionado o *airbrushing* é uma técnica que utiliza um aerógrafo (*airbrush*) como atuador do processo. Esse método consegue produzir arcabouços com fibras em tamanhos nanométricos utilizando polímeros. Pesquisas e estudos envolvendo essa tecnologia ainda são incipientes.

O sistema configurado por Medeiros *et al* (*Solution blow spinning*, 2009), utiliza uma bomba de injeção com a solução polimérica (matéria-prima do arcabouço) e um bico pressurizado com ar. À frente do bico encontra-se o coletor rotativo. No coletor é formada a estrutura polimérica, como apresenta a Figura 1.

Figura 1 - Aparelho configurado para “Solution blow spinning”. Fonte: adaptado de MEDEIROS et al (2009).



Atualmente, as técnicas de *airbrushing* empregam aerógrafos (que são utilizados em larga escala para a pintura) como mostra a Figura 2. Esses aerógrafos possuem um reservatório, que serve para depositar a solução polimérica e um conector para o gás pressurizado (TUTAK *et al*, 2013).

Figura 2 - Modelo de Aerógrafo. Fonte: adaptado de TUTAK et al (2013).



Polímeros

Um dos polímeros indicados para essa operação é o poli(ϵ -caprolactona), o PCL. Ele é indicado para a produção dos arcabouços por ser um polímero biodegradável e bioabsorvível. Após diluído na solução, forma-se a matéria-prima do arcabouço. Como suporte para compor um novo tecido, esse polímero vêm sendo estudado (junto a outros polímeros biodegradáveis) para se conhecer a maneira que interagem com os elementos biológicos. (BARBANTI; ZAVAGLIA; DUEK, 2005).

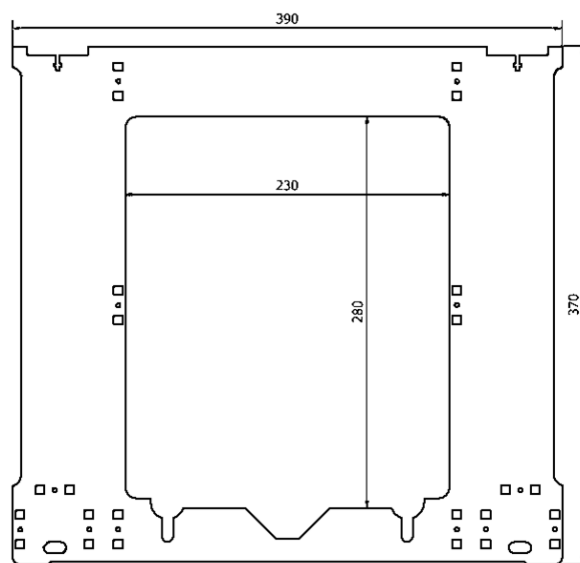
Materiais e métodos

O projeto demonstra o processo de montagem de um aparelho automatizado que possibilite a padronização da fabricação dos arcabouços pelo método de *airbrushing*. Para isso será configurado um sistema que utiliza o eixo X e o eixo Y para a movimentação do aerógrafo que deverá ser acoplado à máquina para “lançar” a solução polimérica em um anteparo localizado logo à frente do dispositivo. Nessa configuração, o aerógrafo poderá movimentar-se para cima ou para baixo, direita ou esquerda de acordo com a necessidade de deposição das fibras no coletor.

Estrutura da movimentação do aerógrafo

O *frame* adquirido é de uma impressora 3D Prusa I3. Essa estrutura é um suporte em que será configurada a movimentação do aerógrafo. Ela é feita de placa de fibra de média densidade (MDF) com uma espessura de 6 mm. O *frame* possui dimensões de 390 mm de largura e 370 mm de altura. Sua área de trabalho é de 230 mm no eixo X e 280 mm no eixo Y, como é visto na Figura 3, sendo uma área útil de 400 mm².

Figura 3 - Desenho da estrutura de movimentação do aerógrafo representado no software Autodesk Inventor® 2017.



Nele são fixadas guias dos eixos X e Y. As guias do eixo X têm 384 mm de comprimento e 8 mm de diâmetro. As guias do eixo Y, 320 mm de comprimento com um diâmetro de 8 mm. O aerógrafo se movimentará pelo eixo X auxiliado por três rolamentos lineares modelo LM8UU. Esse movimento é realizado por um motor de passo fixado ao acoplador através de uma correia. Para o eixo Y, a movimentação será realizada com dois motores de passo acoplados em duas barras roscadas através de acopladores flexíveis 5x5 mm.

Os três motores de passo responsáveis pela movimentação do aerógrafo possuem as especificações listadas no Quadro 1:

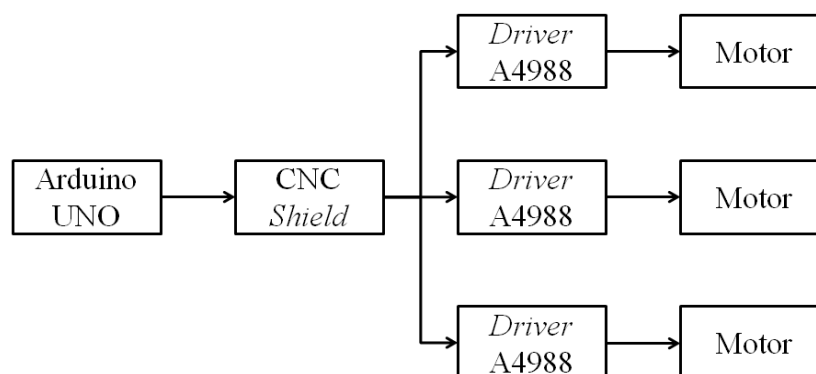
Quadro 1 - Especificações dos motores de passo.

Variável	Valor
Torque Estático:	3,5 kgf.cm
Diâmetro do eixo:	5,0 mm.
Flange:	NEMA 17
Comprimento da carcaça:	40 mm.
Corrente para ligação em Paralelo:	1,2 A.
Peso:	400 g.
Quantidade de fios:	04 (2 fases)
Resolução:	200 PPR
Temperatura ambiente:	-20°C à 50°C
Classe de isolamento:	B (130°C)

Controle da movimentação do aerógrafo

O controle da movimentação do aerógrafo será realizado pela plataforma Arduino UNO, pelo circuito eletrônico CNC *Shield* e por *drivers* A4988 e é apresentado no esquema da Figura 4.

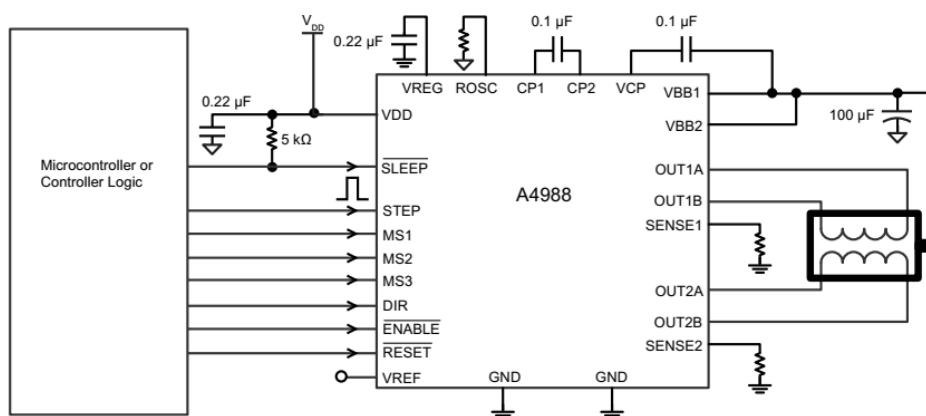
Figura 4 - Esquema do controle dos motores de passo.



O *driver* A4988⁷ é utilizado para controlar os motores de passo, estes suportam até 35 VDC e ± 2 A. Pode operar em modo *full-step*, *half-step*, *quarter-step*, *eighth-step* e *sixteenth step*, sendo facilmente configurado pelos pinos MS1, MS2 e MS3. Para a movimentação do motor, basta enviar um pulso no pino STEP, quanto menor o intervalo entre pulsos, maior será a sua velocidade. O sentido de rotação é selecionado pelo pino DIR. A Figura 5 mostra o diagrama típico de aplicação.

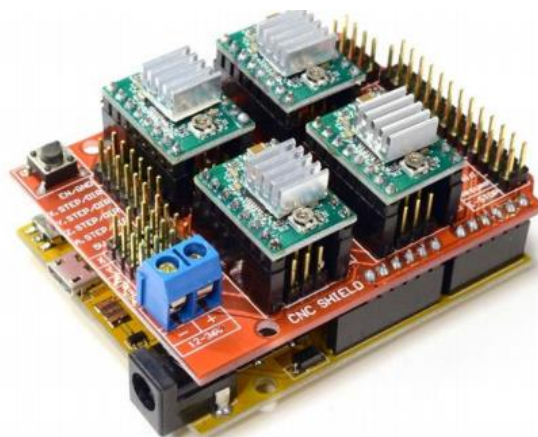
⁷Datasheet do driver A4988. Disponível em <https://www.pololu.com/file/download/a4988_DMOS_microstepping_driver_with_translator.pdf?file_id=0J450>. Acesso em 30 de julho de 2017.

Figura 5 - Diagrama de aplicação do driver A4988.



Como foi mostrado no esquema da Figura 4, o CNC Shield v.3⁸ (Figura 6) é utilizado como placa de expansão do Arduino UNO para o controle dos *drivers* A4988. São utilizados três dos quatro *slots*, que compõem a placa, para acoplar os *drivers* de controle dos três motores de passo presentes no projeto.

Figura 6 - Placa de expansão CNC Shield v.3 acoplada no Arduino UNO.



Os dois motores do eixo Y são controlados simultaneamente, pois o *hardware* permite duplicar o comando de controle. O CNC Shield v.3 pode receber tensões de 12 V à 36 VDC e é alimentado por uma fonte chaveada de 12 VDC e 10 A.

Um *firmware open source* (Grbl v0.9j⁹) foi gravado no Arduino UNO. Este é comumente utilizado no controle de impressoras 3D e máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado), por possuir um alto desempenho e facilidade de uso. O Grbl v0.9j⁹ pode ser utilizado com vários *softwares* do tipo terminal serial e, neste projeto, está sendo empregado o Universal Gcode Sender v1.0.9¹⁰ que também é *open*

⁸Datasheet do CNC Shield v3. Disponível em < <http://www.handsontec.com/dataspecs/cnc-3axis-shield.pdf>>. Acesso em 30 de julho de 2017.

⁹ Firmware disponível em <<https://github.com/grbl/grbl>>. Acesso em 07 de agosto de 2017.

¹⁰ Software disponível em <<https://github.com/winder/Universal-G-Code-Sender>>. Acesso em 07 de agosto de 2017.

source (CONRADO, 2015). Este *software* funciona em qualquer sistema operacional que tenha o Java™ instalado.

Resultados e conclusões

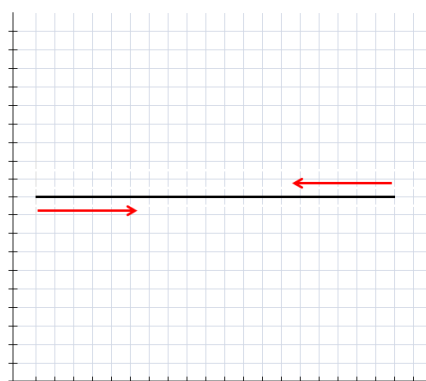
A estrutura de movimentação do aerógrafo pode ser vista na Figura 7:

Figura 7 - Estrutura de movimentação do aerógrafo.



O projeto apresenta uma biblioteca de movimentação em arquivo TAP (.tap). Esse arquivo pode ser aberto e editado através de um editor de textos. Na biblioteca, o aerógrafo se movimentará para a direita e para a esquerda no eixo X em uma altura fixa no eixo Y. Esse movimento é demonstrado na Figura 8.

Figura 8 - Gráfico indicativo da movimentação.



O Universal Gcode Senser® reconheceu o arquivo Grbl® escrito no Arduino e, com as coordenadas inseridas, a movimentação ocorreu normalmente. O protótipo também reconheceu o código escrito em arquivo TAP (.tap) e executou a movimentação prevista. Para a movimentação ocorrer corretamente, há a necessidade de se definir um ponto inicial e um ponto final para cada um dos dois eixos, limitando o espaço de trabalho do aerógrafo.

Consegue-se parametrizar a atuação dos motores de passo, o que possibilita a criação de novas bibliotecas e configurações de movimentação para o aerógrafo. Espera-se, assim, uma padronização da morfologia das estruturas produzidas, estas análises serão realizadas no decorrer do projeto de dissertação.

Referências

BARBANTI, Samuel H.; ZAVAGLIA, Cecília AC; DUEK, Eliana AR. **Polímeros bioreabsorvíveis na engenharia de tecidos**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 15, n. 1, 2005.

BOROJEVIC, Radovan. **Terapias celulares e bioengenharia**. *Gazeta Médica da Bahia*, v. 78, n. 1, 2008.

CHAMBERLAIN, Giselle et al. *Concise review: mesenchymal stem cells: their phenotype, differentiation capacity, immunological features, and potential for homing*. *Stem cells*, v. 25, n. 11, p. 2739-2749, 2007.

CONRADO, Rodrigo. **GRBL v0.9j: O que é? Para que serve? Como configurar?**. São Paulo: Atividade Maker, 2015. 23 p. Disponível em: <<http://www.atividademaker.com.br/upload/grbl/AtividadeMakerGrbl09j.pdf>>. Acesso em: 15 julho 2017.

MA, Peter X. *Scaffolds for tissue fabrication*. *Materials today*, v. 7, n. 5, p. 30-40, 2004.

MEDEIROS, Eliton S. et al. *Solution blow spinning: A new method to produce micro-and nanofibers from polymer solutions*. *Journal of applied polymer science*, v. 113, n. 4, p. 2322-2330, 2009.

SILVA, Sidnei Domingues da. **CNC: Programação de Comandos Numéricos Computadorizados**. Torneamento. São Paulo: Érica Editora, 2002. 312 p.

TUTAK, Wojtek et al. *The support of bone marrow stromal cell differentiation by airbrushed nanofiber scaffolds*. *Biomaterials*, v. 34, n. 10, p. 2389-2398, 2013.

AUTOMATION OF AIRBRUSH MOVEMENTS USED IN THE AIRBRUSHING PROCESS APPLIED IN TISSUE ENGINEERING

ABSTRACT

The production of scaffolds for cell culture in tissue engineering can be performed through the airbrushing technique, which consists of the injection of a polymer solution and a compressed gas into an ejector nozzle. This mixture is designed in a shield and the polymer matrix is formed. Currently this process is performed manually, which does not ensure repeatability of the matrices produced. This project proposes an automated system for the movement of the airbrush used to spray the polymer solution. This automation will ensure accuracy and repeatability of movements which may provide better results in the structure produced. For this, a structure adapted from a 3D printer coupled to stepper motors, which are controlled by specific drivers.

Keywords: *Scaffolds. Airbrushing. Automation.*

Enviado em 01/2018.

Aceito em 01/2018.