



DESENVOLVIMENTO DE UMA BOMBA PERISLÁLTICA PROGRAMÁVEL PARA DEPOSIÇÃO DE NANOPARTÍCULAS EM SISTEMAS DE MICROFLUÍDICA

Palavras-chave: INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA, NANOPARTÍCULAS,
MICROFLUÍDICA

Autores:

Henrique Kenji Kushima Ramos, IFGW - UNICAMP
Prof. Dr. Varlei Rogrigues (orientador), IFGW - UNICAMP
Prof. Dr. Italo Odone Mazali (co-orientador), IQ - UNICAMP

O objetivo deste trabalho é a implementação de bombas peristálticas utilizando sistemas microfluídicos para realizar a deposição controlada de nanopartículas em substratos de silício, com foco em aplicações de Surface Enhanced Raman Scattering (SERS). As bombas e os microcanais são fabricados por meio da tecnologia de impressão 3D e a bomba é acionada por um motor de passo controlado por um microcontrolador Arduino. Dentro do escopo do projeto, foi realizada a fabricação de uma bomba peristáltica com base em um desenho pré-existente, bem como o desenho e modelagem tridimensional de um microcanal simples, que também foi fabricado utilizando impressão 3D. Além disso, foi realizada a caracterização tanto do fluxo da bomba peristáltica quanto da impedância do microcanal.

Durante a primeira fase do projeto, adquiriu-se conhecimento sobre a fabricação das peças necessárias para uma bomba peristáltica utilizando uma impressora 3D. A impressão 3D é um processo de fabricação aditiva no qual camadas sucessivas de plástico são depositadas para criar objetos tridimensionais. No caso da bomba peristáltica, as peças incluem um tubo flexível, um cabeçote e o corpo da bomba. O cabeçote possui roletes que pressionam o tubo flexível, empurrando o líquido contido e criando uma área de baixa pressão logo após a passagem do rolete, gerando um efeito de sucção. Os modelos utilizados foram obtidos de um projeto open-hardware disponível no thingiverse [1] e foram impressos em ABS natural. A figura 1 apresenta a montagem completa da bomba peristáltica.

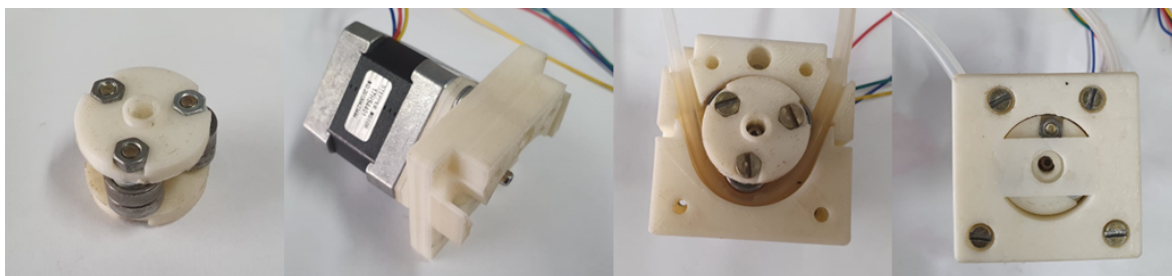


Figura 1: Montagem do rotor e bomba peristáltica.

O rotor da bomba peristáltica é acionado por um motor de passo, que é um tipo de motor DC capaz de girar em frações precisas de uma volta, chamadas de passos. Para controlar e fornecer energia ao motor de passo, utilizou-se o driver A4988. Esse driver desempenha a função de receber um sinal digital proveniente do Arduino e fornecer a energia necessária ao motor, permitindo o controle da velocidade e direção de rotação. Durante o desenvolvimento do projeto, foram adquiridos conhecimentos sobre o funcionamento do driver e um circuito foi montado, empregando um Arduino. Além disso, um programa foi elaborado para controlar o motor de passo. A montagem e o esquema do circuito podem ser visualizados na figura 2.

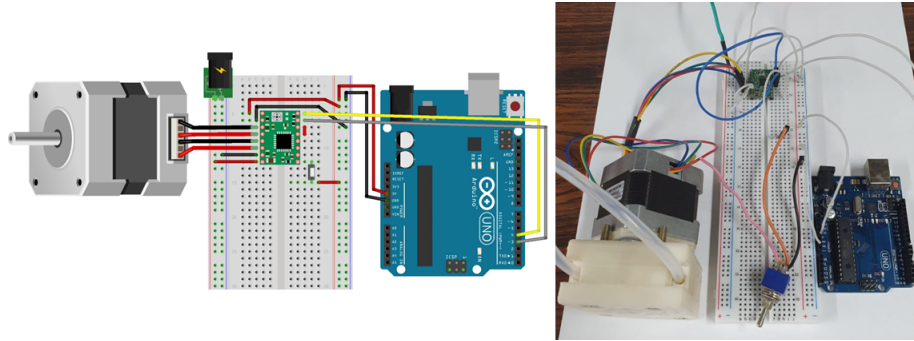


Figura 2: Diagrama do circuito montado e foto do circuito.

Para caracterizar o fluxo da bomba em relação à velocidade do rotor, foi utilizado um modelo simples para calcular o fluxo ideal. O gráfico presente na figura 3 mostra a razão entre o fluxo medido e fluxo ideal em função velocidade do rotor. Os valores de fluxo ideal variam de 0,72 ml/s a 75 rpm até 2,87 ml/s a 300 rpm. Uma agulha foi utilizada como uma restrição para simular um microcanal. Observou-se que a bomba apresenta um desempenho próximo ao ideal quando operando sem nenhuma restrição. No entanto, à medida que a velocidade do rotor é reduzida, o desempenho da bomba também diminui. Isso ocorre porque, com uma velocidade de bombeamento mais baixa, a água tem mais tempo para escapar da região comprimida entre os roletes. As restrições exercem um papel dominante no desempenho da bomba. Quando a restrição é colocada na entrada da bomba, o fluxo é menor em comparação com a restrição na saída da bomba, e em ambos os casos, o fluxo é inferior ao fluxo sem restrição. A pressão gerada pela bomba foi medida com base na altura da coluna de água que a bomba é capaz de elevar, alcançando cerca de 10 metros facilmente. Portanto, pode-se inferir que a pressão gerada pela bomba é de, pelo menos, 1 bar.

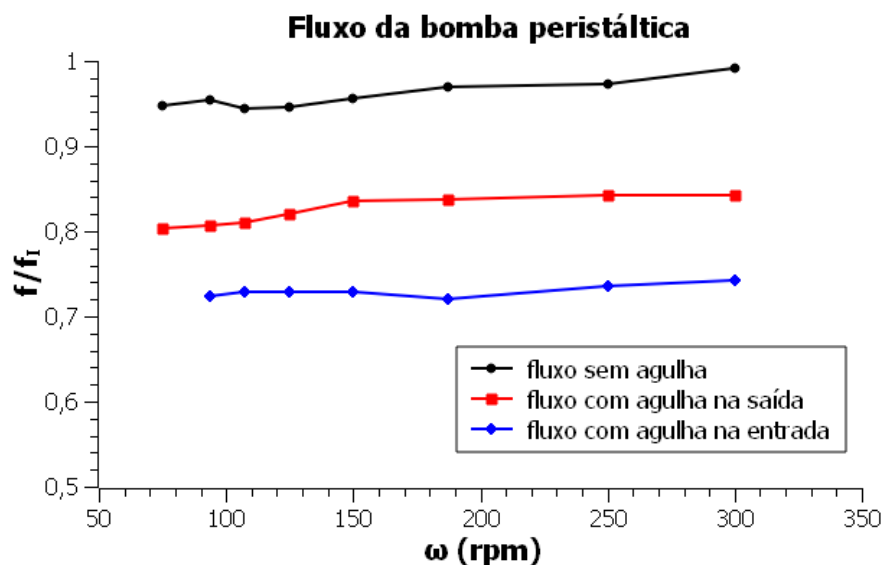


Figura 3: Gráfico da performance da bomba peristáltica.

Em seguida, a atenção foi direcionada para a fabricação de um microcanal, utilizando o processo de impressão 3D no plástico PETG. Durante o processo de fabricação, um dos principais desafios consistiu em encontrar o equilíbrio adequado entre a quantidade de material depositado e a temperatura de extrusão do plástico, a fim de garantir a integridade do canal e evitar vazamentos. Para superar esse desafio, foi necessário aumentar a quantidade de material utilizada, resultando em uma redução na largura do canal. O design do canal fabricado pode ser visualizado na figura 4. Ele possui uma base retangular que abriga o canal principal, no qual a largura é desenhada maior do que a desejada para assegurar uma vedação adequada devido ao maior volume de material, e uma tampa contendo os conectores necessários para a peça.

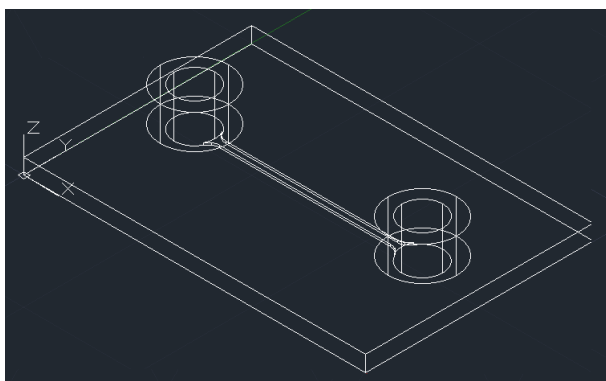


Figura 4: Desenho do canal fabricado por impressão 3D.

Após a impressão do canal, prosseguiu-se com a caracterização de sua impedância, que representa a resistência ao fluxo e é calculada pela razão entre a diferença de pressão na entrada e saída do canal e o fluxo que o atravessa. Para essa análise, o microcanal foi utilizado em conjunto com a bomba peristáltica desenvolvida neste projeto. O fluxo de água através do canal foi medido ao longo do tempo, registrando-se a altura da coluna de água na saída em função do tempo para determinar o fluxo. No gráfico apresentado na figura 5, observou-se que o volume aumenta inicialmente de forma linear e, posteriormente, estabiliza-se em um valor constante ao longo do tempo. Por meio de uma

regressão linear dos primeiros pontos, excluindo a primeira medida, obteve-se um valor de fluxo de $F = 1,7 \pm 0,1$ ml/h. A diferença de pressão ΔP foi estimada com base nos pontos indicados com a seta na figura 5, nos quais a altura da coluna de água foi medida como $13,1 \pm 0,2$ cm. Com os valores de $\Delta P = 13,1 \pm 0,2$ cm H₂O = 1280 ± 20 Pa e $F = (4,7 \pm 0,3) \times 10^{-7}$ l/s, a impedância do canal foi determinada como $I = (2,7 \pm 0,2) \times 10^9$ Pa/(l/s).

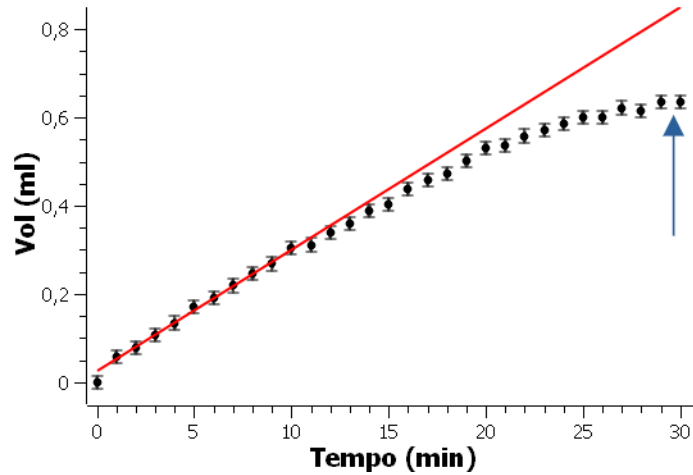


Figura 5: Gráfico do volume de água na mangueira em função do tempo, estão indicados pela flecha azul os pontos usados para determinar a altura da coluna de água.

Também foram realizadas medições de fluxo sem a presença do microcanal, utilizando a mesma velocidade de bombeamento aplicada no microcanal. Observou-se uma diferença de aproximadamente 50% em relação ao fluxo ideal. Essa redução no fluxo na microfluídica trouxe novos desafios não encontrados anteriormente. A queda significativa no fluxo resultou em uma diminuição considerável no desempenho da bomba. Enquanto a bomba opera próximo ao fluxo ideal na faixa de ml/s, o desempenho é em torno de 50% na faixa de fluxo de ml/h. Essa limitação pode ser atribuída ao design da bomba, que possui apenas três rolamentos, permitindo o retorno da água através da bomba em certos ângulos do rotor, além da baixa velocidade de rotação utilizada.

Em conclusão, durante o projeto, todas as etapas do desenvolvimento de uma instrumentação científica foram percorridas, desde a concepção e o desenho inicial até a fabricação e caracterização por meio de um estudo sistemático. Houve participação ativa em todas as fases do experimento, incluindo o controle dos dispositivos utilizados, como a bomba peristáltica controlada pela eletrônica construída especificamente para esse projeto e programada nele. Foi a primeira experiência com desenho técnico, envolvendo o desenvolvimento dos microcanais. Além disso, foi possível aprofundar o conhecimento em impressão 3D. Para a impressão da bomba, foi utilizada uma impressora comercial, o que proporcionou uma experiência mais simplificada. Já para o microcanal, foram utilizadas impressoras disponíveis no laboratório do grupo em que a pesquisa foi desenvolvida, adquirindo-se um conhecimento aprofundado sobre os princípios de funcionamento e os parâmetros de impressão de uma impressora 3D.

Referências

- [1] Thingiverse.com, “Peristaltic pump improved for nema 17 by silisand.” [Online]. Available: <https://www.thingiverse.com/thing:1134817>