

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE MINIBOMBA PERISTÁLTICA PARA BIOSSENSORES SPR, USANDO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

DIAS JUNIOR, Jones Clécio Otaviano, jonesjr.prof@gmail.com¹
DE BARRETO NETO, Arlindo Garcia Sá, arlindo@ifpb.edu.br¹
MOREIRA, Cleumar da Silva, Cleumar.moreira@ifce.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB Campus João Pessoa.
Av. João da Mata, 256, Jaguaribe.
CEP: 58.015-020 - João Pessoa - Paraíba

Resumo: A minibomba peristáltica de roletes é uma boa alternativa para sistemas que requeiram o transporte de fluidos de forma laminar, contínua e controlada, como é o caso do sensoriamento biológico baseado na ressonância de plásmons de superfície ou SPR (Surface Plasmon Resonance). O trabalho proposto apresenta o projeto e desenvolvimento de uma minibomba peristáltica de roletes, acionada por um motor de passo conectado a uma caixa de redução mecânica e associado a um mecanismo de medição de vazão. Foram desenvolvidos projetos de três diferentes atuadores com 2, 3 e 4 roletes, usando o software Solidworks. A implementação utilizou uma impressora 3D usando plástico ABS para a sua prototipagem. A estrutura da minibomba de roletes possui dimensões de 100 milímetros quadrados em sua superfície e 55 mm de altura, sendo realizados de forma otimizadas em função da vazão volumétrica. Foi obtida uma vazão máxima, considerando uma rotação de 80 RPM, de 33,5 ml/min para uma configuração usando 2 roletes, de 22,1 ml/min para uma configuração usando 3 roletes e de 24,8 ml/min para uma configuração com 4 roletes. Contudo, para uma rotação superior a 80 RPM não se observou quaisquer variações da vazão para nenhum dos protótipos. O sistema proposto para mensurar a vazão é composto de um microcontrolador para aquisição e processamento dos dados, sensores e circuitos de condicionamento do sinal. Na mesma estrutura também foi desenvolvida uma interface para visualizar e permitir a interação com a minibomba no tocante à indicação da vazão. A interface com o usuário é realizada usando um display tipo LCD e botões que permitem indicar a vazão desejada. Foram realizados testes com a pressão hidrostática e sua correlação com a vazão medida. Finalmente, o protótipo proposto apresenta características dimensionais que possibilitam a portabilidade e um baixo consumo de potência.

Palavras-chave: Minibomba peristáltica; Sensores Biológicos; Medição de vazão.

1. INTRODUÇÃO

Métodos convencionais de análise e diagnóstico, como os testes ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay) e PCR (Polymerase Chain Reaction), são processos onerosos, realizados em laboratórios bem equipados, com um tempo de análise que varia de dias a semanas e que exigem a participação nos ensaios de profissionais experientes e capacitados para sua operação (Moreira, 2010; Oliveira, 2011). Por outro lado, diagnósticos incorretos podem levar à progressão da doença ou da infecção para formas mais severas.

Os biossensores são alternativas aos métodos tradicionais que oferecem várias vantagens (Homola, 2006; Neff e et al., 2006; Rich, 2005): ausência de marcadores (como os utilizados no teste ELISA), alta sensibilidade, tempo rápido de resposta e capacidade para desenvolver equipamentos analíticos portáteis e baixo custo e/ou configurados num único encapsulamento. O diagrama de blocos de um biossensor é ilustrado na Fig. 1; sendo composto por um transdutor físico-químico, elemento de condicionamento (aquisição, filtragem e amplificação), sistema de processamento do sinal elétrico, sistema fluídico (propulsor de fluxo, célula de fluxo e tubos).

Na fronteira do transdutor físico-químico, devido à imobilização de biorreceptores (por exemplo, DNA, anticorpo, enzima e micro-organismos) adequados, ocorre a adesão do analito (substância de interesse) e a formação da biocamada. O resultado dessa interação produz uma mudança físico-química, como: variação de calor, índice de refração, resistência e capacitância (Homola, 2006).

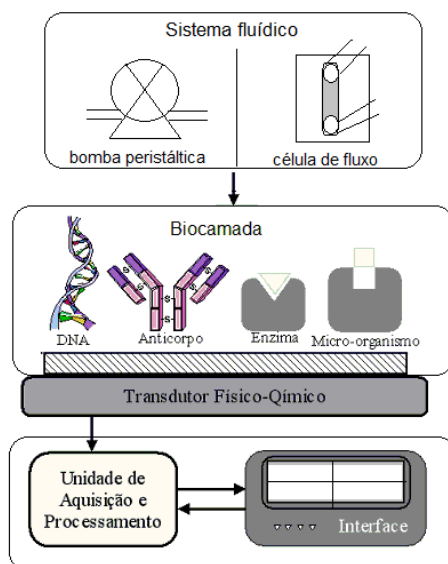


Figura 1: Estrutura de um biossensor, evidenciando os seus elementos componentes

O analito, a ser identificado, está contido numa amostra que geralmente está na forma fluídica (líquida ou gasosa), sendo transportado por um sistema propulsor de fluxo até a célula fluídica, local onde o analito entra em contato com o bioreceptor. O sistema propulsor de fluxo, para aplicações em biossensores SPR, deve ser capaz de manter a taxa de fluxo constante ao longo do tempo ou, no máximo, apresentar pequenas oscilações restritivas ao mecanismo de propulsão escolhido. A faixa de operação para um sistema de propulsão de fluxo para biossensores é da ordem de 1 a 800 $\mu\text{l}/\text{min}$ e deve ser bem projetado para evitar a presença de “bolhas” ou oscilações do fluxo ao longo do canal microfluídico, que pode induzir leituras incorretas. Os dispositivos propulsores de fluxo ou minibombas para uso com biossensores SPR usam, normalmente, o movimento peristáltico (Barreto Neto e et al., 2011; Barreto Neto, 2013).

Na Fig. 2 (a) é ilustrado o funcionamento de uma bomba peristáltica de roletes, na qual o esmagamento do tubo é provocado pelo movimento de rotação dos roletes e cria as ondas viajantes (do inglês: *traveling waves*). Na Fig. 2 (b) é apresentada uma configuração típica, em macroescala, de uma bomba peristáltica linear, na qual um conjunto de atuadores, do tipo pistão, comprime, ciclicamente, o tubo flexível. Em ambos os casos, o movimento imposto sobre as paredes do tubo induzirá um movimento direcionado sobre a massa fluídica, situando as bombas peristálticas na classe de bombas de deslocamento positivo. Para essas bombas, aumentar o diâmetro do tubo ou a frequência do ciclo de bombeamento, acarretará num incremento da taxa de fluxo (Barreto Neto, 2013; Jaffrin e et al., 1971; Laser e et al., 2004).

Este trabalho é voltado para o desenvolvimento de um sistema de bombeamento, tendo como propulsor uma minibomba peristáltica portátil de baixo custo baseada em roletes para biossensores SPR. É apresentado o projeto e desenvolvimento da minibomba, que é acionada por um motor de passo conectado a uma caixa de redução mecânica e associado a um mecanismo de controle de vazão. Foram desenvolvidos projetos de três diferentes atuadores com 2, 3 e 4 roletes, usando o software *Solidworks*. A implementação utilizou uma impressora 3D e plástico ABS para a sua prototipagem. Medições de vazão e pressão foram realizadas para as três configurações propostas e os resultados são também apresentados.

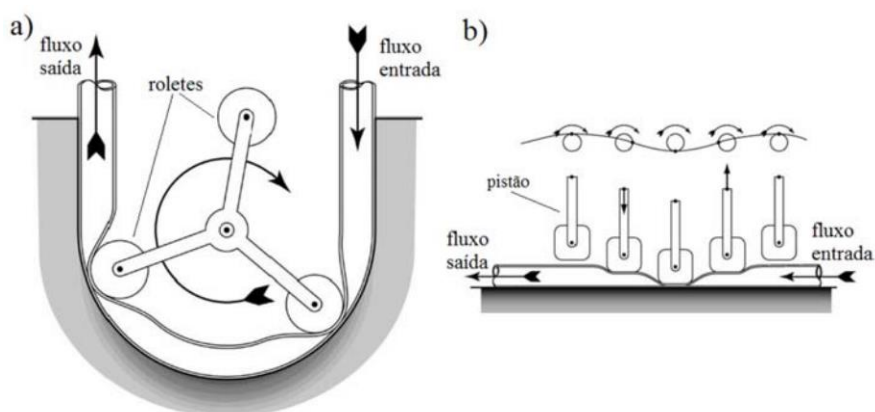


Figura 2: Funcionamento da bomba peristáltica de roletes (a) e linear (b) (Barreto Neto, 2013).

2. MINIBOMBA PERISTÁLTICA DE ROLETES

A minibomba peristáltica de roletes foi projetada e desenvolvida. Para a criação do projeto dessa minibomba, foi utilizado o software *SolidWorks*, seguido do processo de prototipagem com plástico ABS numa impressora 3D. O conjunto de peças e componentes que compõem a minibomba peristáltica de roletes é ilustrado na Fig. 3. A dimensão da minibomba projetada possui dimensões de 100 mm² em sua superfície e altura de 55 mm.

O suporte para o sensor foi desenvolvido com vistas à praticidade para fixação do sensor de vazão utilizado no sistema, de modo a acoplá-lo à minibomba. No ponto 3, são apresentadas a entrada e a saída do tubo de látex, no qual circularão os fluidos de testes. O ponto 4 ilustra a quantidade de roletes escolhidas para o rotor da minibomba, ou seja, 2, 3 e 4 roletes. Os pontos 5 e 6 apresentam, respectivamente, as tampas para a minibomba e para o rotor, sendo estas acopladas à minibomba através de parafusos. No ponto 7 é apresentado a base da minibomba, que foi desenvolvida para receber o tubo de látex, bem como o rotor, sua base, rolamentos (roletes) e tampa. O suporte traseiro no ponto 8, servirá para o encaixe do motor de passo (indicado no ponto 10). Há, também, o acoplamento para o microcontrolador Arduino MEGA (indicado no ponto 9) e o drive para acionamento do motor de passo, baseado no circuito integrado CI ULN2003A (indicado no ponto 11).

Nesse projeto, a quantidade de roletes varia de acordo com o atuador escolhido, sendo possível uma configuração com 2, 3 e até 4 roletes, conforme ilustrado na Fig. 4. Verifica-se que a alteração do número de roletes é simples para a minibomba proposta, sendo necessária a troca dos “atuadores”, como exibidos nas Fig. 4a e 4b.

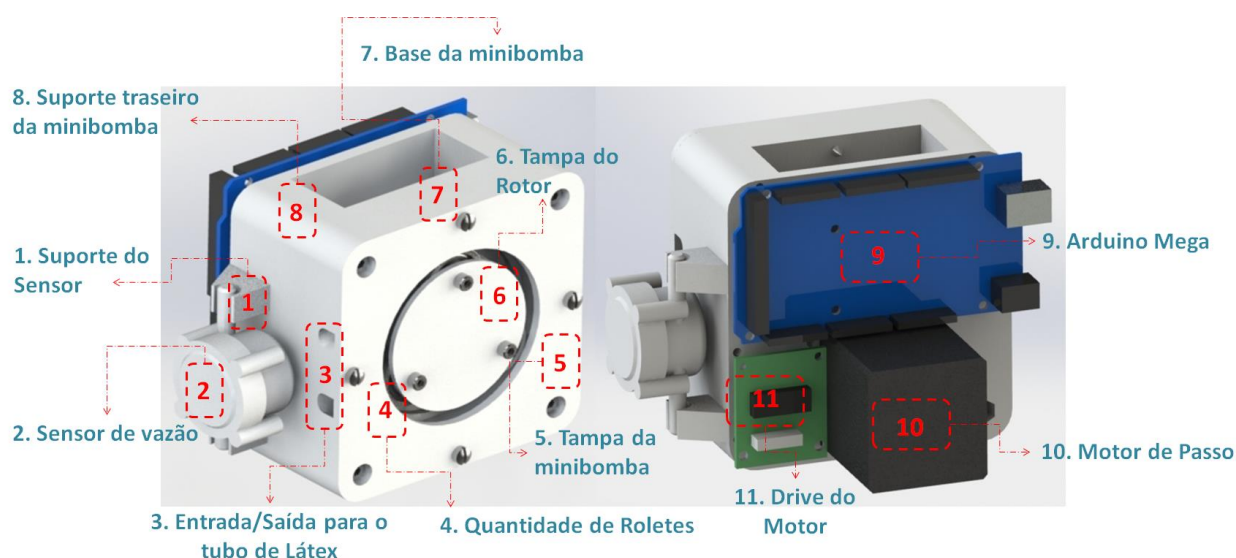


Figura 3: Montagem da minibomba peristáltica com três roletes a ser desenvolvida.

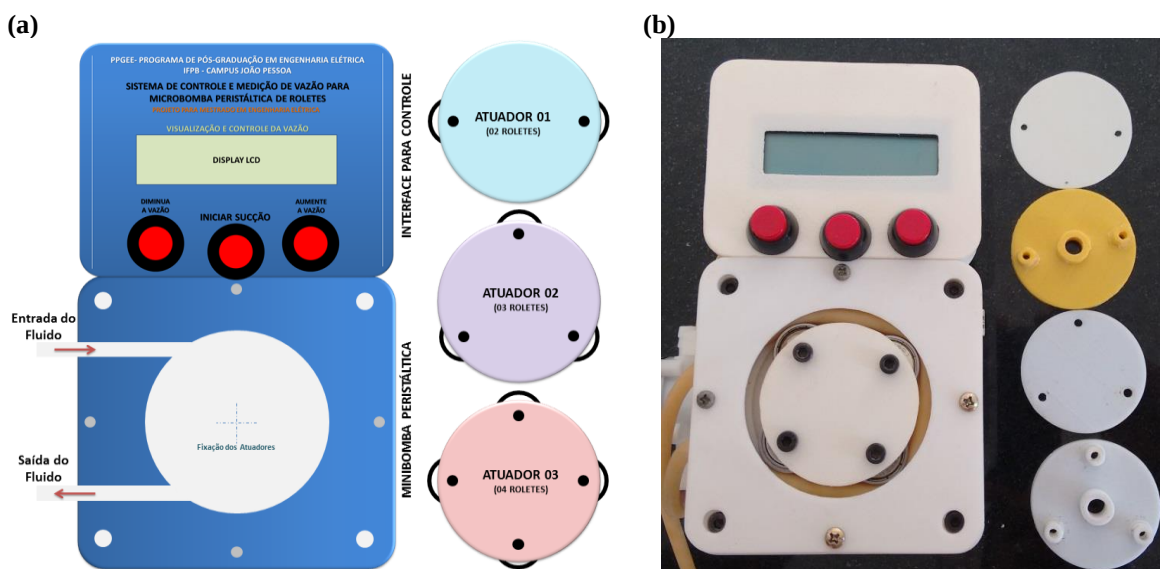


Figura 4: Ilustração da minibomba completa com os três diferentes atuadores (a) e minibomba completa e atuadores após o processo de prototipagem (b).

A minibomba peristáltica proposta possui uma interface para comunicação com o usuário feita através de um display tipo LCD e botões que permitem indicar a vazão desejada. Portanto, o protótipo proposto apresenta

características dimensionais que possibilitam a portabilidade, o controle integrado da vazão e um baixo consumo de potência.

3. TESTES E RESULTADOS

O sistema aqui proposto tem como principal objetivo o desenvolvimento de um protótipo que apresente características dimensionais que possibilitem a portabilidade, o controle integrado da vazão e um baixo consumo de potência. Portanto, torna-se necessário que haja uma ampla sincronização entre o que há disponível e o que se deseja para a obtenção dos objetivos propostos. Isso é referendado pelo fluxo ilustrado na Fig. 5, que indica, após o desenvolvimento mecânico da minibomba, o projeto do sistema de controle e medição de vazão. Isso permitirá a ampla comunicação com o usuário e a indicação da vazão desejada, conforme necessidade da aplicação. No projeto aqui apresentado, é apresentado apenas o sistema de medição de vazão e sua visualização.

Para os testes, foi realizado o bombeamento de água, na temperatura de 25°C, para os três diferentes atuadores, conforme a configuração ilustrada na Fig. 6. O sistema apresentado está em malha aberta e, para essa condição, foram medidas a vazão máxima e a pressão hidrostática para os três atuadores propostos. Os objetivos dessas medições foram verificar a vazão máxima e o efeito de bombeamento considerando os três atuadores diferentes.

De acordo com os testes realizados, a partir do sistema apresentado na Fig. 6, foi obtida uma vazão máxima, considerando uma rotação de 80 RPM (Fig. 7), de 33,5 ml/min para uma configuração usando 2 roletes, de 22,1 ml/min para uma configuração usando 3 roletes e de 24,8 ml/min para uma configuração com 4 roletes. Testes com outras velocidades foram realizados e foi observado que para uma rotação superior a 80 RPM as variações da vazão foram mínimas e para valores maiores que 100 rpm, os resultados foram insatisfatórios e desconsiderados. Além disso, observou-se que o aumento da velocidade do motor de passo levava, obviamente ao aumento da vazão até que a velocidade de 80 rpm foi alcançada.

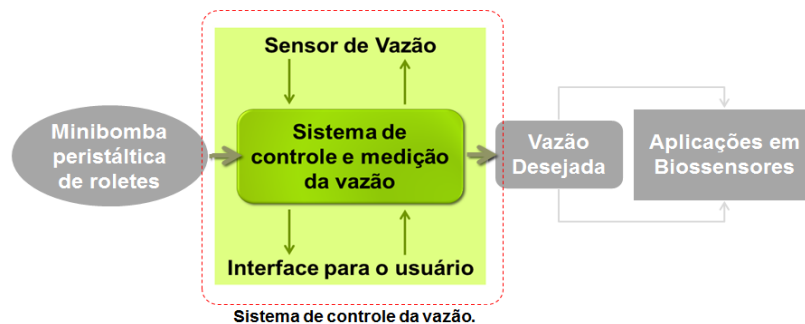


Figura 5: Sistema medidor/controlador de vazão para a minibomba peristáltica de roletes.

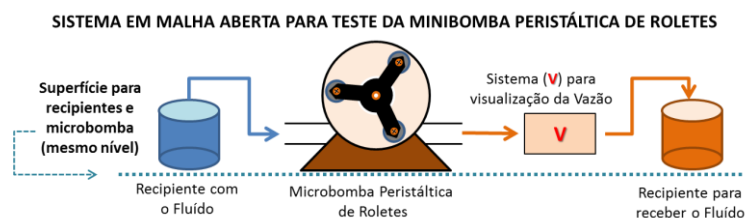


Figura 6: Sistema de teste em malha aberta para a minibomba peristáltica de roletes.

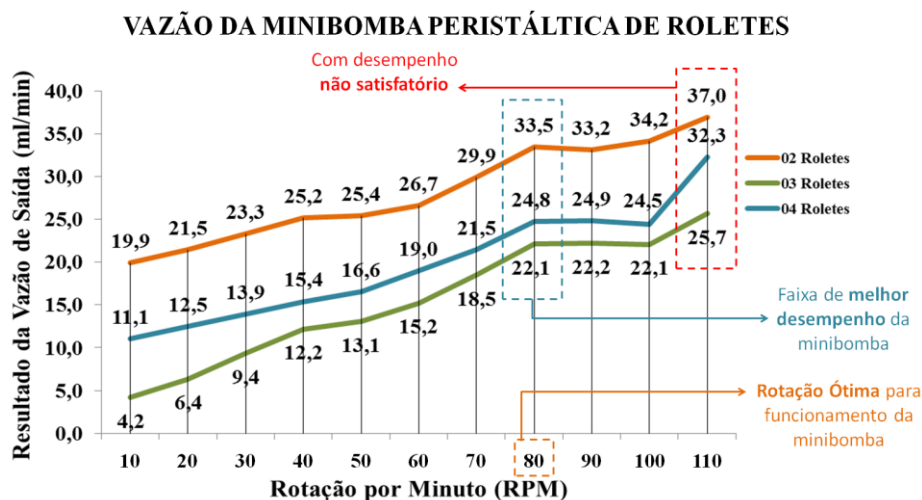


Figura 7: Gráfico do desempenho da minibomba para os três atuadores (RMP x ml/min).

Após a realização dos testes de vazão realizados, foi montada uma configuração (Fig. 8) para a medição da pressão hidrostática na saída do sistema. O objetivo foi verificar a capacidade de bombeamento, considerando os três atuadores utilizados. Novamente, o fluido de testes foi água à temperatura ambiente e o sistema ilustrado na Figura 9 foi montado. Para os três atuadores propostos foi utilizado um tempo de acionamento de 05 minutos e a altura do líquido em estado inicial foi de 7,0 cm. Os resultados obtidos pela medição da altura H e o cálculo da pressão hidrostática são exibidos na Tabela 1. Observou-se que os valores calculados foram bem próximos e a capacidade de bombeamento para as condições apresentadas foram equivalentes.

Os valores obtidos pelos testes com a vazão máxima e a pressão hidrostática indicam que os atuadores desenvolvidos para a minibomba peristáltica proposta podem propiciar valores adequados para o projeto com biossensores SPR. Verifica-se que, embora a vazão máxima tenha sido obtida para a minibomba com o atuador de 2 roletes, a altura máxima (pressão hidrostática) foi obtida para a minibomba de 3 roletes. Conclui-se que essas configurações podem ser usadas de forma intercambiável e adequadas quando água, a 25° C, for utilizada como o fluido.

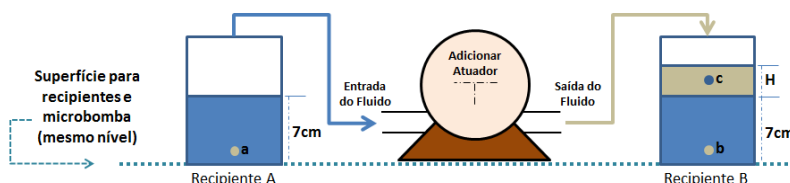


Figura 8: Configuração para teste e cálculo da pressão hidrostática de saída da minibomba.

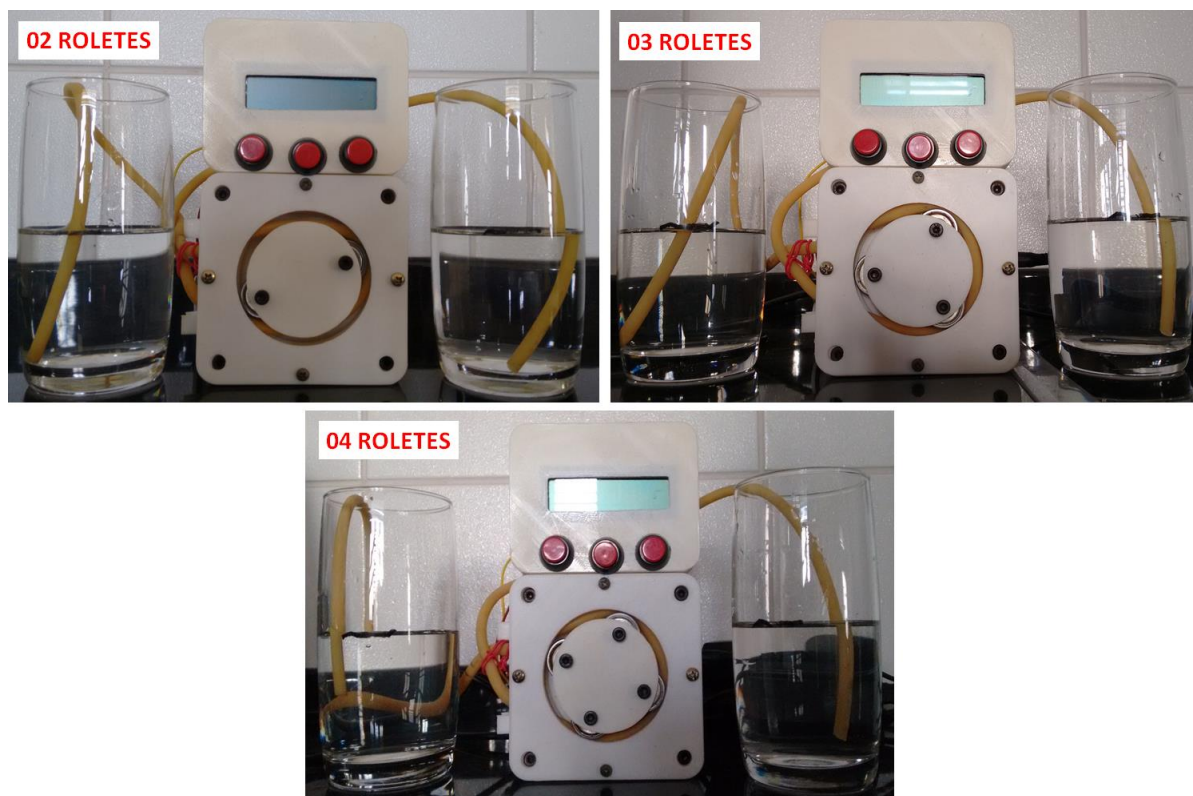


Figura 9: Sequência de teste para cálculo da pressão hidrostática.

Tabela 1. Resultados de medição da altura H e cálculo da pressão

Atuador	Altura H	Pressão Calculada
2 roletes	2,0 cm	10199,2 cmH ₂ O
3 roletes	2,8 cm	10200 cmH ₂ O
4 roletes	2,4 cm	10199,6 cmH ₂ O

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse trabalho, apresentaram-se o projeto e desenvolvimento de uma minibomba peristáltica de roletes com três diferentes atuadores, com 2, 3 e 4 roletes, com a medição de vazão e fluxo. Considera-se que são boas alternativas para sistemas que requeiram o transporte de fluidos de forma laminar, contínua e controlada, como é o caso do sensoriamento biológico baseado na ressonância de plásmons de superfície ou SPR (*Surface Plasmon Resonance*).

Para trabalhos futuros, pretende-se aplicar o sistema de testes para diferentes fluidos com viscosidades diferentes da água, utilizada inicialmente para testes iniciais da minibomba, bem como a substituição do tubo flexível que é

responsável pelo transporte do fluido do recipiente de entrada até o biossensor, possibilitando, portanto, o uso de substância mais específica para aplicações em biossensores..

5. REFERÊNCIAS

- Barreto Neto, A. G. S.; Lima, A. M. N.; Neff, H.; Gomes, C. L.; Moreira, C. Linear peristaltic pump driven by three magnetic actuators: simulation and experimental results. I2MTC 2011 : IEEE International Instrumentation And Measurement Technology, v. 134, n. 2, p. 555 – 564, 2011.
- Barreto Neto, A. G. S. Contribuição ao Projeto de Sistemas de Propulsão de Fluidos. 2013. 230 f. Tese de doutorado, UFCG, Campina Grande - PB, 2013.
- Homola, J (2006). Surface Plasmon Resonance Based Sensors. Springer-Verlag, Berlin.
- Jaffrin, M. Y.; Shapiro, A. H. Peristaltic pumping. Annual Review of Fluid Mechanics, v. 3, n. 1, p. 13–37, 1971.
- Laser, D. J. and Santiago. A review of micropump, Journal of Micromechanics and Microengineering, v. 14, p. 35-64, 2004.
- Moreira, C. S. Projeto e realização de um biochip óptico para aplicações biológicas baseado no princípio de ressonância de plásmons de superfície. 2010. 136 f. Tese, UFCG Campina Grande - PB, 2010.
- Neff, H.; Zong, W.; Lima, A. M. N.; Borre, M. and Holzhüter, G (2006). Optical properties and instrumental performance of thin gold films near the surface plasmon resonance. Thin Solid Films, v. 496, pp. 689-697.
- Oliveira, L. C. Sistema computacional para biossensor baseado na ressonância de plasmas de superfície. 2011. 132 f. Dissertação, UFCG Campina Grande - PB, 2011.
- Rich, R. L.; Myszka, D. G (2005). Survey of the year 2004 commercial optical biosensor literature. Journal of Molecular Recognition, v. 18, pp. 431–478.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PERISTALTIC MINIPUMP FOR SPR BIOSENSORS WITH A FLOW MEASUREMENT SYSTEM

DIAS JUNIOR, Jones Clécio Otaviano, jonesjr.prof@gmail.com¹
DE BARRETO NETO, Arlindo Garcia Sá, arlindo@ifpb.edu.br¹
MOREIRA, Cleumar da Silva, Cleumar.moreira@ifce.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB Campus João Pessoa.
Av. João da Mata, 256, Jaguaribe.
CEP: 58.015-020 - João Pessoa – Paraíba

Abstract. A rollers-based minipump is a good alternative to systems that require laminar, continuous and controlled fluidic transport, like the Surface Plasmon Resonance (SPR)-based biosensing. Here, the design and the construction of a rollers-based peristaltic minipump are proposed that is driven by a step motor connected to a mechanical reduction box and related to a measurement control. Three different configurations (2, 3 and 4 rollers) have been designed on the software Solidworks. A 3D printer was used to construct the minipump structure with the ABS plastic. The dimensions of the minipump were 100 mm² in its surface and a height of 55 mm. Maximum flows of 33,5 ml/min, 22,1 ml/min and 24,8 ml/min have been obtained for the 2, 3, 4 rollers-based minipump when a rotation velocity of 80 rpm was used. Nevertheless, when velocities higher than 80 RPM were used, any variations were observed. A microcontroller, sensors and conditioning signal circuits have been also used in the prototype. Moreover, a LCD-based interface was implemented to exhibit the circulating flow and buttons can provide the changes at the flow. Pressure measurements were also done. Eventually, the proposed prototype has adequate characteristics to SPR biosensing, like portability and low-power consumption.

Keywords: Peristaltic minipump; biologic sensors; flow measurement