

## DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO HIDRÁULICO DO SISTEMA CIRCULATÓRIO HUMANO CONTROLADO POR MICROCONTROLADOR

Andrew Guimarães Silva<sup>1</sup>; Mateus Soares Nogueira de Oliveira<sup>2</sup>; Daniel Gustavo Goroso<sup>3</sup>;  
Robson Rodrigues da Silva<sup>4</sup>

1. Estudante do Curso de Engenharia Elétrica; e-mail: andrewguimaraessilva@gmail.com<sup>1</sup>
2. Estudante do Curso de Engenharia Mecânica; e-mail: mateus.umc@hotmail.com<sup>2</sup>
3. Professor da Universidade de Mogi das Cruzes; e-mail: danielg@umc.br<sup>3</sup>
4. Professor da Universidade de Mogi das Cruzes; e-mail: robson.silva@umc.br<sup>4</sup>

**Área do Conhecimento:** Engenharia Biomédica

**Palavras-chave:** modelo hidráulico do SCH, efeito de Windkessel, bancada didática.

### INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) as doenças cardiovasculares são a principal causa de morte no mundo e estima-se que 15,2 milhões de pessoas faleceram por doenças cardiovasculares em 2016, isso representa 30% de todas as mortes em nível global. Somente no Brasil, de acordo com a Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC), calcula-se que 384 mil pessoas morreram em decorrência de doenças do coração em 2017. Obter uma melhor compreensão sobre o funcionamento do Sistema Circulatório Humano (SCH) é de vital importância para o avanço das pesquisas que buscam desenvolver tratamentos para as diversas cardiopatias existentes. Com o intuito de auxiliar esses estudos, as simulações computacionais, também conhecidas como experimentos “in silico”, capazes de mimetizar sistemas fisiológicos, estão dentre as ferramentas mais promissoras, permitindo, por exemplo, simular o comportamento do sistema cardiovascular alterando-se diversos parâmetros (NAIK et al., 2014). Contudo, a utilização de ferramentas computacionais não elimina os experimentos “in vitro” ou “in vivo”. Dessa forma, modelos físicos compostos por circuitos hidráulicos capazes de representar o SCH são de vital importância para o desenvolvimento e testes dos Dispositivos de Assistência Ventricular (DAVs), que auxiliam a estabilização hemodinâmica de pacientes à espera de transplantes cardíacos. Estes modelos hidráulicos podem ser utilizados também na elaboração de válvulas, corações e pulmões artificiais, permitindo diversos testes antes dos experimentos “in vivo”. Outra função importante destes modelos é sua utilização como ferramenta de ensino, pois permite que o aluno visualize o comportamento da pressão e do fluxo sanguíneo em tempo real, auxiliando assim no complemento do processo ensino-aprendizagem da fisiologia cardíaca (GREGORY, 2009). Neste contexto, o objetivo do trabalho é desenvolver o modelamento matemático de um circuito hidráulico que represente o SCH, implementando o modelo desenvolvido em uma bancada didática com ajustes controlados por microcontrolador. Desta forma, o trabalho dá continuidade à linha de pesquisa que estuda modelos do SCH, iniciada com a primeira versão do simulador SCHSim (SILVA et al., 2018), um simulador didático do SCH baseado nos modelos de Windkessel, obtido como resultado do projeto PIBIC (2017/2018). O simulador já possui uma segunda versão, denominada de SCHSim Web (SILVA et al., 2019), desenvolvida para o PIBIC (2018/2019), baseando-se em um modelo mais robusto capaz de representar a circulação sistêmica e a circulação pulmonar.

## OBJETIVOS

Desenvolver uma bancada didática baseada no modelo de Windkessel de dois elementos, que seja capaz de representar perfis de pressão arteriais da circulação sistêmica, tendo seu ajuste e sensoriamento controlado por um microcontrolador.

## METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente projeto dividiu-se em quatro etapas principais. Na primeira etapa realizou-se uma revisão bibliográfica com o intuito de compreender a fisiologia básica do SCH e selecionar um modelo capaz de representar o funcionamento deste sistema. Na segunda etapa, já com o modelo de Windkessel de 2 elementos selecionado na etapa anterior, iniciou-se o dimensionamento dos componentes hidráulicos que o sistema requer para atingir os perfis de pressão desejados. A terceira etapa foi definida como a implementação da bancada, onde realizou-se a programação do sistema de controle interligando o sistema de sensoriamento, atuação e controle à um software. Nesta etapa também se montou o circuito hidráulico da bancada, com toda sua tubulação, reservatório, bomba e demais componentes mecânicos. Por fim foi realizada a validação do sistema, por meio da execução de diversos testes na bancada, alterando parâmetros de controle e verificando seus resultados. Os resultados obtidos, foram por fim comparados com valores teóricos obtidos na literatura.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

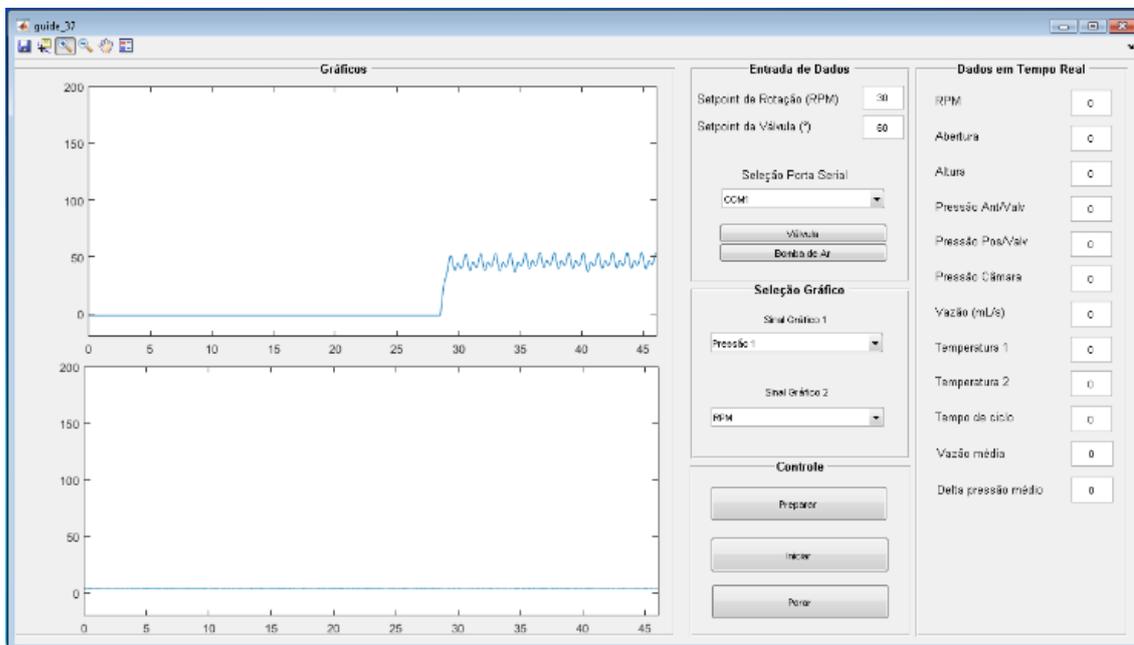
Após a montagem do circuito hidráulico e integração de todos os elementos sensores e atuadores, obteve-se a bancada experimental demonstrada na Figura 1.

**Figura 1** - Bancada didática construída



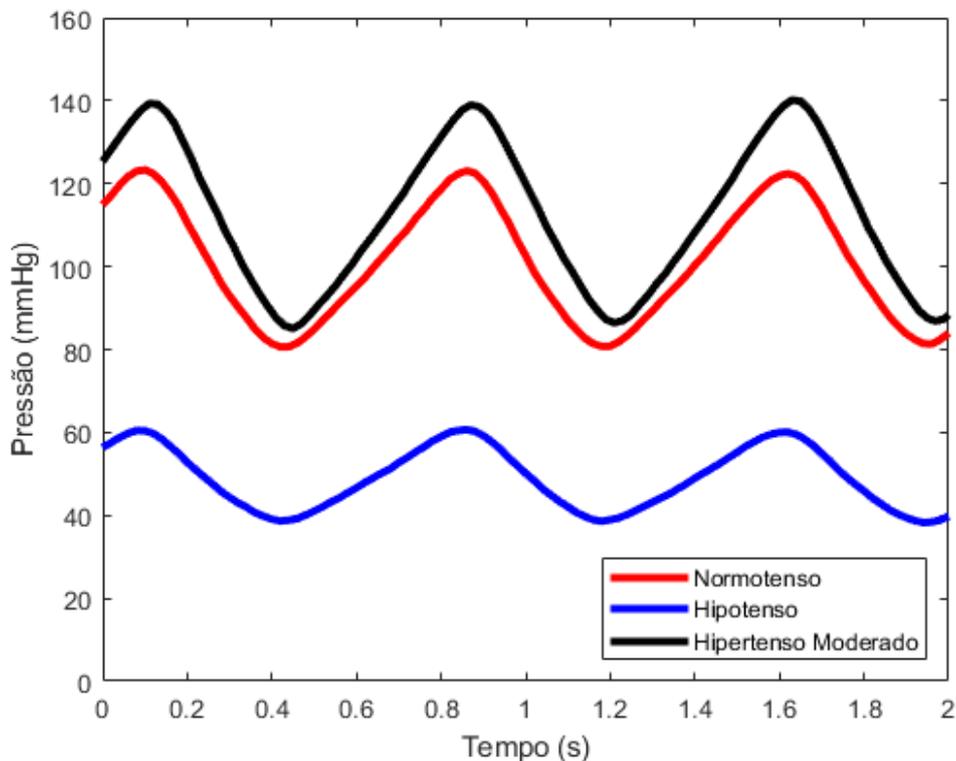
A interface de controle criada para realizar a interação com o usuário pode ser observada na Figura 2. Nessa interface o usuário pode selecionar a visualização gráfica dos perfis de pressão, vazão, abertura da válvula e rotação do sistema de acionamento da bomba. O funcionamento da bancada didática pode ser acompanhado no link: <<https://bit.ly/30lj96p>>.

**Figura 2 - Visão geral da interface**



A partir dos testes executados na etapa de validação obteve-se os perfis de pressão arterial em condições hipotensa (azul), normotensa (vermelho) e hipertensa leve (preto), os sinais estão apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Sinais de pressão obtidos



## CONCLUSÕES

Este estudo apresentou um novo simulador da circulação sistêmica baseado no modelo de Windkessel, combinando um circuito hidráulico, um sistema microcontrolado e uma interface gráfica que permite ao usuário alterar parâmetros do sistema e monitorar em tempo real os sinais obtidos. O sistema microcontrolado da bancada mostrou-se eficaz em controlar todos os elementos sensores e atuadores, sendo capaz de reproduzir diversas condições de pressão arterial apenas ajustando características hidráulicas por meio da interface do software desenvolvido. A integração do conjunto de automatização ao circuito hidráulico e à estrutura base da bancada tornam o sistema uma versátil ferramenta de ensino e treinamento, sendo possível transportá-la e operá-la necessitando apenas de um computador. O sistema ainda pode ser aprimorado, realizando alterações no circuito hidráulico a fim de buscar um regime de fluxo laminar na válvula de gaveta. Isso permitirá que todos os elementos hidráulicos sejam convertidos em características fisiológicas, tornando o sistema completamente automatizado do ponto de vista de simulações das características da circulação sistêmica. Outro aspecto que pode ser melhorado em trabalhos futuros é a inserção de condições patológicas no sistema, tais como alterações nas válvulas cardíacas, aspecto este que tornaria a função didática da bancada mais abrangente.

## REFERÊNCIAS

CARDIÔMETRO. **Mortes por Doenças Cardiovasculares no Brasil**. Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC), Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.cardiometro.com.br/>>. Acesso em: 15 março 2018, 17:50.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (MS). **Doenças Cardiovasculares**. Rev. maio de 2017. Disponível em: <[https://www.paho.org/bra/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5253:doencas-cardiovasculares&Itemid=839](https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5253:doencas-cardiovasculares&Itemid=839)>. Acesso em: 15 março 2018, 15:30.

GREGORY, Shaun David. **Simulation and Development of a Mock Circulation Loop with Variable Compliance.** p. 174.

Naik, Ketan B.; Dr. P H. Bhathawala. **Mathematical Modelling And Simulation Of Human Systemic Arterial System.** International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT). Surat, v. 8, n. 2, p. 1, jul 2014.

SILVA, Andrew G.; Silva, Robson R.; GOROSO, Daniel. **SCHSim: Uma Análise da Modelagem do Sistema Circulatório Humano (SCH) Utilizando Circuitos Elétricos Equivalentes.** Revista Científica UMC. Mogi das Cruzes, 2018.