

## **SCHSim: UM SIMULADOR DO SISTEMA CIRCULATÓRIO HUMANO UTILIZANDO CIRCUITOS ELÉTRICOS EQUIVALENTES**

Andrew Guimarães Silva<sup>1</sup>; Daniel Gustavo Goroso<sup>2</sup>; Robson Rodrigues da Silva<sup>3</sup>

1. Estudante do Curso de Engenharia Elétrica; e-mail: andrewguimaraessilva@gmail.com
2. Professor da Universidade de Mogi das Cruzes; e-mail: danielg@umc.br
3. Professor da Universidade de Mogi das Cruzes; e-mail: robson.silva@umc.br

Área do Conhecimento: **Engenharia Biomédica**

**Palavras-chaves:** vasos arteriais elásticos, sistema circulatório humano, modelos elétricos equivalentes.

### **INTRODUÇÃO**

Doenças cardiovasculares são a principal causa de morte no mundo, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), estima-se que 17,7 milhões de pessoas faleceram por doenças cardiovasculares em 2015, isso representa 31% de todas as mortes em nível global. Somente no Brasil, de acordo com a Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC), calcula-se que 349 mil pessoas morreram em decorrência de doenças do coração no ano de 2016. 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 “in silico”, capazes de mimetizar sistemas fisiológicos, estão dentre as ferramentas mais promissoras (NAIK et al., 2014). Neste contexto, este trabalho desenvolve a segunda versão do simulador SCHSim (SILVA et al., 2018), que apresentou um simulador didático do SCH baseado nos modelos de Windkessel, obtido com resultado do projeto PIBIC (2017/2018). Esta nova versão traz uma simulação baseada em um modelo mais robusto, permitindo assim, simular separadamente o comportamento da circulação sistêmica e da circulação pulmonar, diferenciando-se da primeira versão que contemplava toda a circulação sistêmica apenas como um único bloco, negligenciando as medidas pontuais. Destaca-se como vantagem na utilização de um modelo com mais elementos a possibilidade de representar separadamente o comportamento dos átrios e ventrículos no sistema, incluindo os efeitos da válvula aórtica e da válvula mitral no desempenho da pressão sanguínea. Desse modo o simulador traz elementos que permitem estudar os efeitos de doenças associadas ao mal funcionamento das válvulas cardíacas, como a estenose aórtica e mitral. Esta segunda versão do SCHSim traz uma nova experiência de utilização para o usuário. Sendo desenvolvida em plataforma web permite uma maior flexibilidade de acesso ao estar disponível em qualquer navegador com acesso à internet. Aproveitando a versatilidade do desenvolvimento web, o simulador trará novas ferramentas didáticas com foco na instrução teórica do conteúdo necessário para a realização e compreensão das simulações, permitindo que usuários, com pouco conhecimento do tema, possam utilizar a ferramenta para estudar o SCH. Dentro desse conjunto de ferramentas didáticas será disponibilizada uma proposta de atividade para fixação do conteúdo por meio de perguntas sobre o tema estudado na parte teórica e a respeito dos resultados obtidos durante as simulações.

### **OBJETIVOS**

Desenvolver a segunda versão do simulador didático SCHSim, uma ferramenta web que implementada na plataforma RStudio®, permite realizar simulações do comportamento do SCH em condições normais e na presença de estenose das válvulas cardíacas. Acrescentar ao simulador ferramentas didáticas que possibilitam o estudo dos conceitos do SCH.

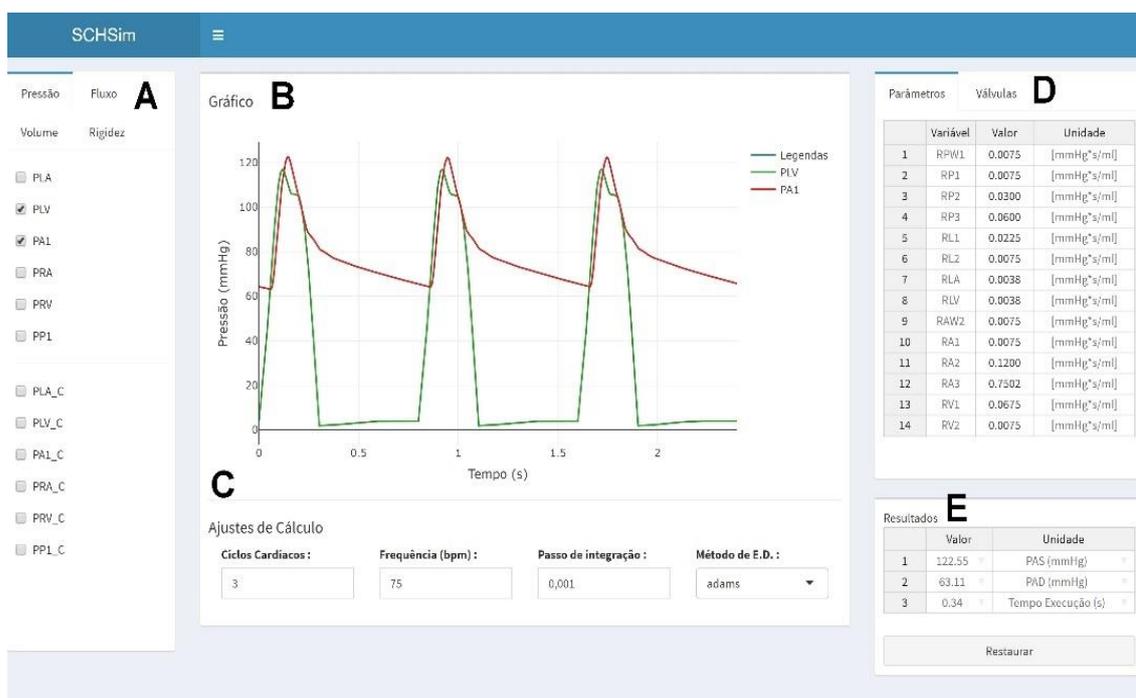
## METODOLOGIA

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 matemático capaz de representar o comportamento da circulação sistêmica e pulmonar. O modelo selecionado nesta etapa foi o modelo de Rideout (1991), devido sua robustez e capacidade de alteração de parâmetros. Durante a segunda etapa estudou-se as características que configuram a estenose das válvulas cardíacas, permitindo assim, levantar as alterações necessárias no modelo com intuito de representar essas cardiopatias. No decorrer da terceira etapa efetuou-se um estudo das ferramentas computacionais requeridas para a resolução das equações obtidas na análise do modelo matemático. A plataforma de desenvolvimento RStudio®, que trabalha com a linguagem de programação R, foi escolhida devido sua grande quantidade de bibliotecas disponíveis tanto para a resolução das Equações Diferenciais (E.D.) quanto para a implementação do ambiente gráfico do simulador. Na última etapa implementou-se a segunda versão da ferramenta computacional SCHSim, que permitiu realizar simulações via web do SCH em situações patológicas e comparar com características do sistema saudável.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

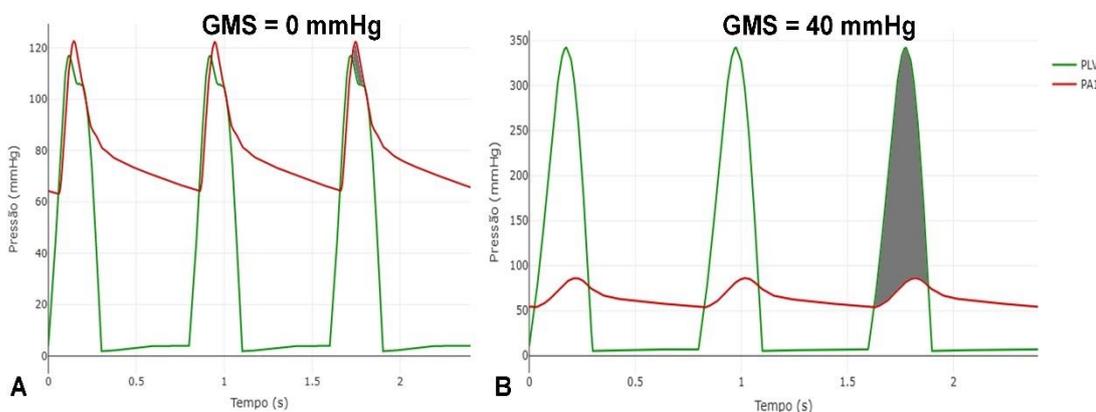
A Figura 1 traz o ambiente de simulação do SCHSim Web, que pode ser acessado após o preenchimento de um breve formulário disponível no link: <https://bit.ly/2K8O6IU>. Esta tela é dividida em cinco partes, sendo estas: A) Seleção dos Sinais: permite selecionar os sinais exibidos no gráfico, por exemplo, a pressão no átrio esquerdo (PA1), a pressão no ventrículo esquerdo (PLV) e a pressão na artéria aorta (PA1); B) Gráfico: neste campo é possível visualizar os sinais calculados; C) Parâmetros de Entrada: permite ajustar os parâmetros utilizados na resolução das E.D. do modelo; D) Ajuste de Parâmetros: neste local permite-se alterar todos os valores numéricos do modelo; E) Resultados: neste campo são apresentados alguns dados da simulação, como a pressão arterial sistólica, pressão arterial diastólica e tempo de execução.

**Figura 1** - Ambiente de simulação do SCHSim.



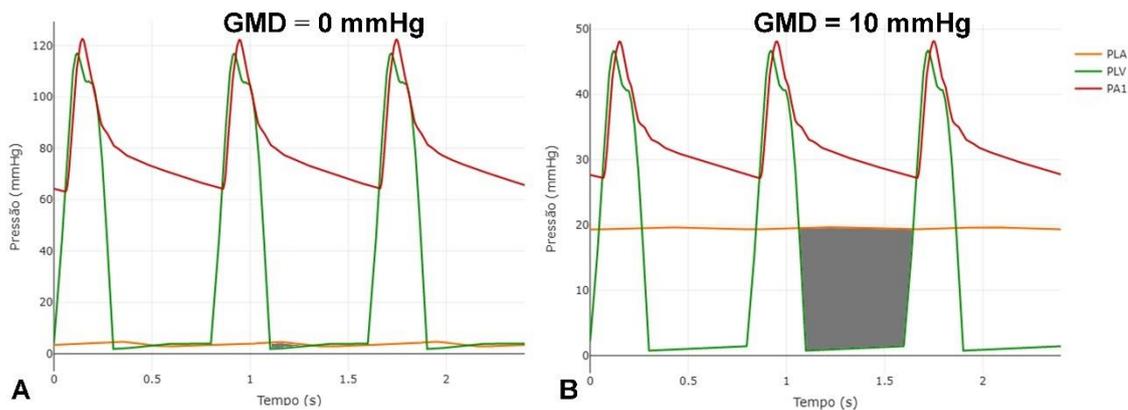
A seguir apresenta-se uma comparação entre o resultado da simulação da pressão PLV e da pressão PA1 em condições normais Figura 2A e na presença da estenose aórtica importante Figura 2B. A estenose aórtica é caracterizada pelo aumento da pressão do ventrículo esquerdo em relação à pressão da artéria aorta durante a ejeção sanguínea do ventrículo. Esse gradiente de pressão é causado principalmente pela diminuição da área de abertura da válvula que aumenta a resistência encontrada pelo sangue ao fluir do ventrículo para a artéria (KLABUNDLE, 2012). Analisando os resultados presentes na Figura 2A observa-se que o valor do gradiente médio sistólico (GMS), caracterizado pela diferença entre a pressão PLV e PA1 no momento da sístole, é próximo a zero. A pressão PLV apresentou uma variação de 116/2 mmHg e a pressão PA1 oscilou entre 122/64 mmHg. Já na Figura 2B observa-se que PLV variou entre 340/7 mmHg enquanto PA1 variou entre 86/54 mmHg. O GMS ficou próximo à 40 mmHg (área cinza). Este GMS elevado demonstra, de acordo com a Diretriz Brasileira de Valvopatias (DBV) de 2011 a presença de uma estenose aórtica importante.

**Figura 2 - Comparação: Controle vs Estenose Aórtica**



Na estenose mitral ocorre o estreitamento da válvula que separa o átrio esquerdo do ventrículo esquerdo. Esta condição de estreitamento dificulta a passagem do sangue e causa um retorno do sangue para o átrio esquerdo, aumentando assim, a pressão no átrio (KLABUNDLE, 2012). A Figura 3A demonstra que para condições saudáveis o gradiente médio diastólico (GMD), caracterizado pela diferença entre a pressão PLA e PLV no momento da diástole, é próximo a zero. A pressão PLV apresentou uma variação de 116/2 mmHg e PA1 oscilou entre 122/64 mmHg. Já na Figura 3B observa-se que na presença de uma estenose mitral importante, PLV variou entre 44/1 mmHg e PA1 oscilou entre 48/27 mmHg. O GMD ficou próximo à 10 mmHg (área cinza). Este GMD elevado demonstra de acordo com a DBV de 2011 a presença de uma estenose mitral importante.

**Figura 3 - Comparação: Controle vs Estenose Mitral**



## CONCLUSÕES

O ambiente de simulação do SCH (SCHSim WEB) baseado em um circuito elétrico equivalente apresentado neste trabalho demonstrou-se útil na descrição dos fenômenos presentes no sistema circulatório. Diferentes condições do SCH podem ser estudadas apenas modificando os parâmetros. Realizou-se um estudo dos resultados obtidos tanto em condições normais (controle) como na presença de alterações nas válvulas cardíacas. Os resultados obtidos são capazes de representar os fenômenos estudados, porém, alguns valores divergem dos apresentados em teoria, dessa forma, como trabalhos futuros, pretende-se realizar ajustes nos parâmetros necessários e validar o modelo com dados experimentais.

## REFERÊNCIAS

Arquivos Brasileiros de Cardiologia. **Diretriz Brasileira de Valvopatias**. Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC), vol 97, N°5, Supl. 1, novembro, 2011.

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.

Klabunde, R. E. **Cardiovascular Physiology Concepts**. Disponível em: <https://www.cvphysiology.com>. Acesso em: 27 julho 2019, 17:50.

Organização Mundial da Saúde (OMS). **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.

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.

Rideout, V.C. **Mathematical and computer modeling of physiological systems. Pressure-flow modeling of the cardiovascular system**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1991.