

UMA ANÁLISE DA MODELAGEM DO SISTEMA CIRCULATÓRIO HUMANO (SCH) UTILIZANDO CIRCUITOS ELÉTRICOS EQUIVALENTES

Andrew Guimarães Silva¹; Daniel Gustavo Goroso²; Robson Rodrigues da Silva³

1. Estudante 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-chave: Vasos arteriais elásticos; sistema circulatório humano; modelos de Windkessel, modelos elétricos equivalentes.

INTRODUÇÃO

Doenças cardiovasculares são umas das principais causas de morte no mundo, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) estima-se que houve 17,7 milhões de óbitos decorrentes de 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. Este índice de mortes é um dado preocupante e que tem aumentado ao longo dos últimos anos. Compreender o funcionamento do coração e todo o sistema no qual ele está inserido é de vital importância para que estudos na área do desenvolvimento de tratamentos para cardiopatias possam progredir. Para auxiliar nesses estudos, uma das ferramentas mais promissoras é a utilização de modelos matemáticos capazes de simular desde o comportamento estocástico dos canais iônicos até o funcionamento das estruturas do Sistema Circulatório Humano (SCH) (SILVA et al., 2017). Nesse contexto, baseando-se nos modelos matemáticos de Windkessel de dois, três e quatro elementos de (HLAVÁČ, 2004) que mimetizam o comportamento da artéria aorta, o objetivo desse trabalho é apresentar o simulador SCHSim. Implementado na plataforma MATLAB®, o SCHSim disponibiliza um ambiente de simulação do SCH, permitindo ao usuário realizar análises e comparações do comportamento da pressão e do fluxo sanguíneo interno da artéria quando alterado parâmetros fisiológicos do sistema, tais como frequência cardíaca, complacência arterial, resistência periférica e inércia sanguínea. O simulador possui também ferramentas didáticas que possibilitam o estudo dos conceitos básicos do SCH e instruções de uso das ferramentas do software.

OBJETIVOS

Desenvolver o simulador didático SCHSim, uma ferramenta computacional que implementada na plataforma MATLAB®, permite realizar simulações do comportamento da pressão e do fluxo sanguíneo interno da artéria aorta quando alterado parâmetros do sistema. O simulador possui ainda ferramentas didáticas que possibilitam o estudo dos conceitos básicos do SCH.

METODOLOGIA

A execução do projeto foi dividida em quatro etapas. Na etapa inicial, foram realizadas pesquisas bibliográficas e seminários visando o aprendizado da fisiologia básica do SCH. A segunda etapa constituiu-se de um levantamento e posterior seleção dos principais modelos matemáticos capazes de representar as características de vasos arteriais elásticos. Dentre os modelos selecionados escolheu-se os modelos de Windkessel de dois, três e quatro elementos (HLAVÁČ, 2004). Esses modelos mimetizam o comportamento da artéria aorta e são caracterizados por trabalharem com parâmetros concentrados, simplificando o sistema,

pois não consideram as variações espaciais das variáveis dependentes. Diferente dos modelos de parâmetros distribuídos em que as dimensões do sistema são consideradas. Esta abordagem permite diminuir o grau de complexidade do sistema tornando possível resolvê-los por meio de equações diferenciais ordinárias (SHI et al, 2011, p3). Já na terceira etapa, com o intuito de dominar as ferramentas necessárias para a implementação do simulador, realizou-se a fundamentação teórica da ferramenta computacional MATLAB®. Na última etapa, baseando-se nos modelos selecionados na segunda etapa e utilizando as ferramentas estudadas na terceira etapa, foi desenvolvido o simulador SCHSim. Para resolver as equações diferenciais obtidas pelos modelos, utilizou-se a ferramenta ODE Solver, que permite resolver equações diferenciais pelo método numérico. Como o intuito do simulador é tornar-se uma ferramenta didática e que possa ser utilizada por estudantes, utilizou-se na criação das interfaces gráficas, a ferramenta Graphical User Interfaces Development Environment (GUIDE) que permitiu uma melhor visualização dos resultados e a criação de menus de interativos com opções de ajuda.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

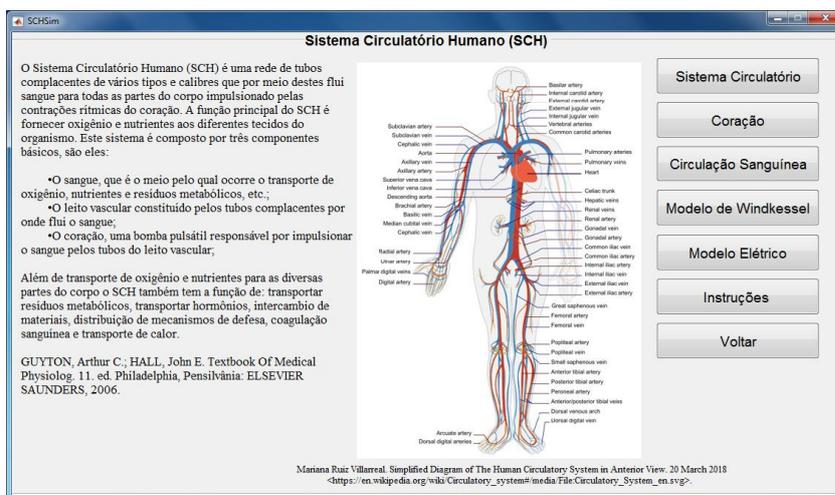
A Figura 1 traz a tela inicial do simulador SCHSim. Esta tela possui botões que permitem acessar suas principais funções e selecionar o idioma padrão (inglês ou português).

Figura 1 - Tela inicial do simulador SCHSim.



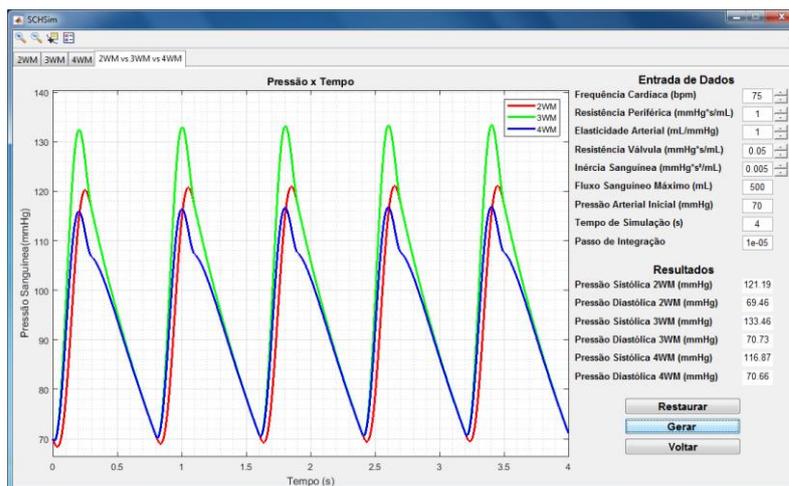
Ao pressionar o botão (Ajuda) é apresentada a tela observada na Figura 2. Esta tela contém um menu que permite navegar entre as ferramentas de instruções didáticas.

Figura 2 - Tela de ajuda do simulador.



A Figura 3 apresenta a tela de comparação dos modelos. Os valores obtidos para o modelo de dois elementos (2WM), três elementos (3WM) e quatro elementos (4WM) são respectivamente: 121.19/69.46 mmHg, 133.46/70.73 mmHg e 116.87/70.66 mmHg.

Figura 3 - Comparação entre 2WM, 3WM e 4WM.



Observando o resultado da comparação entre os três modelos, ilustrado na Figura 3, verifica-se que os modelos 2WM e 4WM possuem uma pressão sistólica próxima a 120 mmHg, um valor coerente quando comparado aos valores de pressão arterial de um adulto saudável, que são, de acordo com (GUYTON et al. 2006, p.162) 120 mmHg para pressão sistólica e 80mmHg para pressão diastólica, divergindo apenas quanto ao valor da pressão diastólica que para os modelos de dois e quatro elementos apresentou-se próxima a 70 mmHg, um pouco distante dos 80 mmHg ideais. Ao observar os resultados obtidos pelo modelo 3WM nota-se que a pressão sistólica obtida foi de 133,46 mmHg, um valor fora dos 120 mmHg esperados, contudo sua pressão diastólica foi de 70,73 mmHg mostrando-se próxima aos demais modelos. Analisando os gráficos gerados pelos modelos verifica-se que os modelos 2WM e 3WM não foram capazes de reproduzir a incisura dicrotica apresentada pelo modelo 4WM. Essa ocorrência se deve ao fato do modelo 4WM possuir mais elementos capazes de representar o efeito, possibilitando assim uma descrição mais próxima do fenômeno em questão. Constata-se, também, que os sinais apresentam curvas pouco realísticas devido as simplificações dos modelos, que trabalham com parâmetros concentrados não considerando todos as variáveis espaciais existentes no SCH real (SHI et al, 2011, p3). Dessa forma, os resultados obtidos por essas simulações são simplificados,

mas servem de base para a compreensão e desenvolvimento de modelos mais complexos. Em relação aos elementos didáticos do SCHSim, destaca-se como ponto importante a inserção de elementos instrutivos da teoria abordada no simulador, fato não observado no simulador CircAdapt (LUMENS, 2014), que embora tenha sido implementado em um modelo mais completo, não possui ferramentas didáticas incluídas. O aspecto didático é importante, uma vez que devido à complexidade do assunto abordado, ferramentas de instrução podem proporcionar uma melhor experiência de utilização ao usuário.

CONCLUSÕES

A ferramenta computacional SCHSim mostrou-se capaz de simular a pressão arterial sob a alteração de determinados parâmetros, fornecendo resultados coerentes em relação a pressão arterial de um adulto saudável tida como ideal de 120 mmHg / 80 mmHg (GUYTON et al. 2006, p.162). Entretanto não se pode validar os modelos sem uma comparação com dados experimentais obtidos sob as mesmas condições das simulações, dessa forma fica em aberto para trabalhos futuros realizar esta validação. Espera-se que o SCHSim, possa contribuir para o ensino dos princípios básicos da complexa teoria do sistema cardiovascular tornando mais fácil a visualização das dinâmicas existentes no sistema. Como projeto futuro, novas ferramentas de análise serão incorporadas, possibilitando a avaliação e o desenvolvimento de novos modelos mais complexos para o SCH.

REFERÊNCIAS

Guyton, Arthur C.; HALL, John E. **Textbook Of Medical Physiolog**. 11. ed. Philadelphia, Pensilvânia: ELSEVIER SAUNDERS, 2006.

Hlaváč, M.; Holčík, J. **Windkessel Model Analysis in MATLAB**. Student Electrical Engineering, Information and Communication Technologies. Brno, 2004.

Lumens, J. **Creating your own virtual patient with CircAdapt Simulator**, Eur. Heart, p.335–337, 2014.

Shi, Y., Lawford, P., Hose, R. **Review of Zero-D and 1-D Models of Blood Flow in the Cardiovascular System**. BioMedical Engineering OnLine. 2011.

Silva, R. R., Goroso, D. G., Bers, D. M., Puglisi, J. L.: **MarkoLAB: A Simulator to Study ionic Channel's Stochastic Behavior**. Computers in Biology and Medicine, v. 87, pp. 258- 270, 2017.

AGRADECIMENTOS: UMC e FAPESP (Proc. nº 2016/18422-7).