

# Uma Estrutura Interativa para o Ensino do Modelo de Contração Muscular de Hill

Lucas Cordeiro Teixeira<sup>1</sup>

Departamento de Física - ICEX - UFF, Volta Redonda, RJ

Wellington Carlos de Jesus<sup>2</sup>, Marina Ribeiro Barros Dias<sup>3</sup>

Departamento de Matemática - ICEX - UFF, Volta Redonda, RJ

Suzana Angélica Silva Lustosa<sup>4</sup>

Hospital Santa Cecília - HSC, Volta Redonda, RJ

Simular o movimento corporal usando contrações musculares é um passo crítico para a compreensão do movimento humano. Nas últimas décadas, as técnicas de simulação para sistemas músculo-esqueléticos foram utilizadas com sucesso em muitas áreas de aplicação, incluindo ciências do esporte e do exercício, ergonomia, engenharia de reabilitação músculo-esquelética e animação por computador. Os modelos musculares do tipo Hill são altamente preferidos como modelos fenomenológicos para estudos de simulação musculoesquelética, apesar de terem sido introduzidos há quase um século. O uso de modelos simples do tipo Hill em simulações, em vez de modelos mais recentes, é bem justificado, uma vez que modelos computacionalmente menos custosos, embora menos precisos, do tipo Hill têm grande valor para simulações em grande escala [3]. O modelo muscular de Hill pode ser ensinado de um ponto de vista puramente fisiológica em uma aula de medicina ou pode servir de exemplo para alunos com formação em engenharia [2], física, matemática entre outras. As simulações computacionais podem ser particularmente benéficas para o ensino de conceitos relacionados à produção e regulação do movimento, [2]. Tais simulações podem ser realizadas com uso de softwares comerciais, necessitando, por vezes, da utilização de computadores com recursos suficientes para realizar simulações. Em relação aos softwares, já existem alguns recursos disponíveis gratuitamente para download. Por exemplo, *OpenSim* (<https://opensim.stanford.edu>), entretanto, *OpenSim* tem uma curva de aprendizado relativamente íngreme e os alunos precisam de um computador com recursos computacionais suficientes para baixar e executar o software. Neste contexto, foi desenvolvido, por uma equipe formada por matemáticos, físicos e médicos, uma estrutura interativa para o ensino de modelos de contração muscular totalmente on-line, que não necessita de instalação ou download. Uma estrutura contendo simulação computacional para a modelagem, compreensão, sistematização da contração, por meio do aprendizado impulsionado pela experimentação e pela simulação, nomeada com base nas seguintes palavras em inglês: *Modeling, Understanding, Systematizing, Contraction, Learning, Experimentation, Simulation (MUSCLES)*. Como exemplo de aplicação, foi projetado um curso com laboratório virtual usando *MUSCLES*, baseado no trabalho de Holmes [2], para o estudo de um modelo muscular biomecânico simplificado de dois componentes, descrito pela primeira vez por A. V. Hill em 1938 [1]. O modelo de Hill fornece relações quantitativas termodinamicamente restritas entre comprimento muscular, velocidade de encurtamento, força e calor liberado durante uma contração muscular. Mais especificamente, o modelo de 2 elementos de Hill [1], propõe que o músculo consiste em dois elementos básicos: um elemento produtor de força contrátil (EC) e um elemento “elástico” que está disposto “em série” (ES)

---

<sup>1</sup>cordeiro\_lucas@id.uff.br

<sup>2</sup>wellingtonjesus@id.uff.br

<sup>3</sup>marinaribeiro@id.uff.br

<sup>4</sup>coreme@hospitalsantacecilia.org.br

com o elemento contrátil. Hill descreve que o elemento elástico em série influencia o comprimento do elemento contrátil e a taxa de mudança no comprimento (velocidade) durante contrações dinâmicas e, portanto, afeta a capacidade de produção de força do elemento contrátil. Ocasionalmente, Hill referiu-se ao elemento elástico em série como o tendão [1], e isso é repetido em seus trabalhos posteriores, mas Hill reconheceu que no músculo (em série e não em série) a elasticidade também pode residir em outros componentes além dos tendões. Embora resolver manualmente as equações do modelo de 2 elementos de Hill possa ser um bom exercício para estudantes (por exemplo, com formação em matemática, física ou engenharia), é também uma oportunidade ideal para ensinar abordagens numéricas baseadas em computador [2]. Mesmo que o foco e o cronograma da unidade de ensino não permitam tarefas de programação mais longas para os alunos, programas numéricos de simulação computacional podem ser úteis para fortalecer a compreensão intuitiva do aluno sobre o modelo. Portanto, é desejável um programa de simulação no qual os alunos possam projetar sistemas de modelos de contração muscular e testar a resposta a diferentes entradas. Neste contexto, é apresentado o *MUSCLES* no presente trabalho. *MUSCLES* é uma estrutura interativa escrita na linguagem de programação Python e JavaScript para projetar modelos de contração muscular e constantes dinâmicas dos músculos por meio de uma interface gráfica de usuário e simular a resposta mecânica a várias entradas. Uma ferramenta on-line de simulação computacional para o estudo da fisiologia muscular básica para apoiar cursos de fisiologia, controle motor, biomecânica e modelagem matemática. A estrutura *MUSCLES* é interativa e fácil de usar, possui baixa demanda de recursos de hardware e internet. O código-fonte está disponível como software de código aberto sob a licença MIT no GitHub (<https://muscles-org.github.io/>). Adotando uma abordagem de aprendizagem por descoberta, os estudantes são convidados a usarem uma simulação computacional simples para reproduzirem os experimentos que Hill descreveu em seu artigo e depois ajustem o modelo de Hill aos dados simulados. As atividades incluem elementos de design adaptados de jogos de computador para aumentar a motivação dos alunos durante o processo de trabalho, conceito denominado "gamificação", possibilitando aos alunos seguir seu processo de pensamento para descobrir princípios-chave da fisiologia muscular e obter *insights* sobre como desenvolver modelos quantitativos de processos fisiológicos. Na elaboração do material foi considerada a experiência de Holmes [2] ao ensinar o método de Hill em um curso de pós-graduação em engenharia biomédica, juntamente com sugestões para adaptações para outros públicos. Espera-se que *MUSCLES* possa ser útil para estudantes de diferentes níveis, complementando o ensino formal na área da fisiologia, pela experimentação e melhora da intuição além de exemplo de construção de modelo. Como trabalhos futuros incluir outros modelos de contração muscular, em especial modelos mais mecanicistas para contraste com o de Hill, mais fenomenológico.

## Referências

- [1] Archibald Vivian Hill. "The heat of shortening and the dynamic constants of muscle". Em: **Proceedings of the Royal Society of London. Series B - Biological Sciences** 126.843 (1938), pp. 136–195. DOI: 10.1098/rspb.1938.0050.
- [2] Jeffrey W. Holmes. "Teaching from classic papers: Hill's model of muscle contraction". Em: **Advances in Physiology Education** 30.2 (2006). PMID: 16709736, pp. 67–72. DOI: 10.1152/advan.00072.2005.
- [3] Sang-Hoon Yeo, Jasper Verheul, Walter Herzog e Shinjiro Sueda. "Numerical instability of Hill-type muscle models". Em: **Journal of The Royal Society Interface** 20.199 (2023), p. 20220430. DOI: 10.1098/rsif.2022.0430.