

# Modelagem e simulação do movimento humano

**Renato Watanabe**

*[renato.Watanabe@ufabc.edu.br](mailto:renato.Watanabe@ufabc.edu.br)*

*<http://pesquisa.ufabc.edu.br/bmclab>*

*<https://github.com/BMClab/bmc>*

UFABC, 2019

# Sobre o Laboratório



The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying `pesquisa.ufabc.edu.br/bmclab`. The browser's address bar and tabs are visible at the top. The website itself has a header image of a laboratory with the text "BMClab Laboratório de Biomecânica e Controle Motor" overlaid in yellow. Below the header is a navigation menu with links: BMClab, Pessoal, Ensino, Pesquisa, Serviços, Recursos, Publicações, and BLOG. The main content area on the left contains a welcome message, a description of the lab's research interests, and a list of upcoming graduate courses. On the right, there is a search bar, a list of useful links, and a section for events at UFABC. At the bottom, there are two promotional boxes: one for "OPEN DATA" datasets and another for "YES WE CODE" computational science, both with "Ler mais" (Read more) buttons.

Biomechanics and Motor x +

pesquisa.ufabc.edu.br/bmclab

Apps Estudo Internet Basquete Notícias Informação Viagem Getting Started Gmail: Email fro COSEAS-USP | C ReMoto Blog da Pró-Reit NumPy for MATI https://www.m

## BMClab

### Laboratório de Biomecânica e Controle Motor

BMClab Pessoal Ensino Pesquisa Serviços Recursos Publicações BLOG

Bemvindo ao site do BMClab, o Laboratório de Biomecânica e Controle Motor do programa de Engenharia Biomédica da Universidade Federal do ABC.

O BMClab é um laboratório de pesquisa interessado em Biomecânica e Controle Motor do movimento humano, em particular na locomoção e postura humana. Basicamente, Biomecânica estuda a estrutura e função dos sistemas biológicos utilizando o conhecimento e métodos da Mecânica e Controle Motor estuda como os sistemas biológicos controlam seus movimentos. Em um sentido amplo, estamos interessados em saber como seres vivos controlam e executam seus movimentos.

Nós trabalhamos para melhorar a qualidade de vida na sociedade, oferecendo serviços de avaliação em nosso laboratório e na difusão do conhecimento científico.

Próximas disciplinas de graduação ou pós sobre Biomecânica e Controle Motor @ UFABC

- Introdução à Estatística (início em junho de 2019)
- Introdução a modelagem e simulação do movimento humano (início em junho de 2019)

**Bolsas de estudos disponível no BMClab:** Estamos procurando aluna(o) de graduação para trabalhar com a gente em pesquisa sobre modelagem e simulação do movimento humano. Entre em contato com a gente!

Português English

Busca Busca

- BMClab sitemap
- Links úteis

#### Eventos @ UFABC

- BMClab agenda
- Seminários em Engenharia Biomédica
- Seminários em Neurociência
- Todos os eventos

#### BMClab postagens recentes

Defesa de doutorado da Claudiane Fukuchi @ 25/2 7 de fevereiro de 2019

Defesa de mestrado da Desiree Miraldo 17 de janeiro de 2019

Palestra Projeto Andar de Novo, dia 6 de julho 3 de julho de 2018

Novo serviço do BMClab: Avaliação de parâmetros espaço-temporais e pressão plantar da marcha 13 de junho de 2018

Projetos de tecnologias assistivas de baixo custo

## OPEN DATA

BMClab datasets

Ler mais



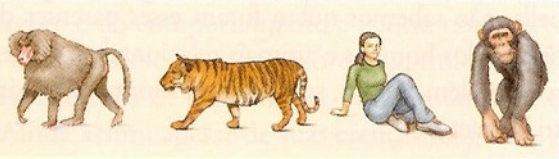




## YES WE CODE

Computação científica @ BMClab

Ler mais

# Movimento nos seres vivos

[https://www.ted.com/talks/daniel\\_wolpert\\_the\\_real\\_reason\\_for\\_brains](https://www.ted.com/talks/daniel_wolpert_the_real_reason_for_brains)

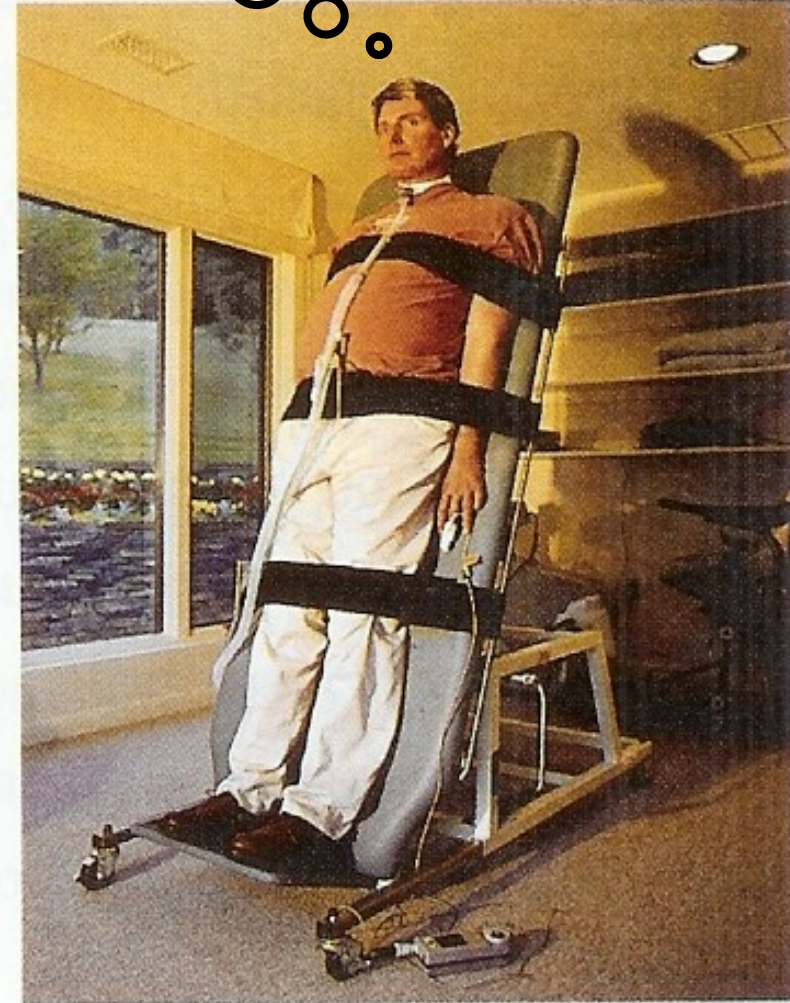
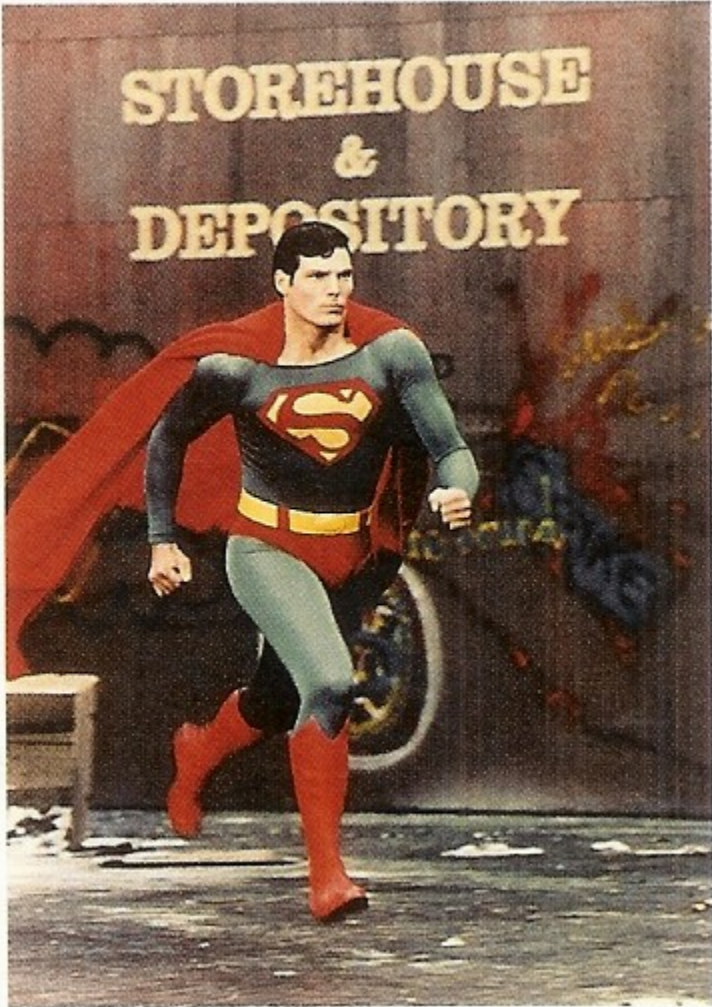
<b>Organismos vivos</b>	
<b>Reino:</b> <i>Animalia</i> Características: Neurônios e músculos usados para locomoção.	
<b>Filo:</b> <i>Chordata</i> Características: Cérebro e medula espinal	
<b>Classe:</b> Mamíferos Características: Cérebros grandes e comportamento social	
<b>Ordem:</b> Primatas Características: Controle visual das mãos	
<b>Família:</b> <i>Hominidae</i> Características: Uso de ferramentas	
<b>Gênero:</b> Humano Características: Linguagem	
<b>Espécie:</b> Humano moderno Características: Cultura complexa	

**Como me  
movimentar?**





# Como me movimentar?

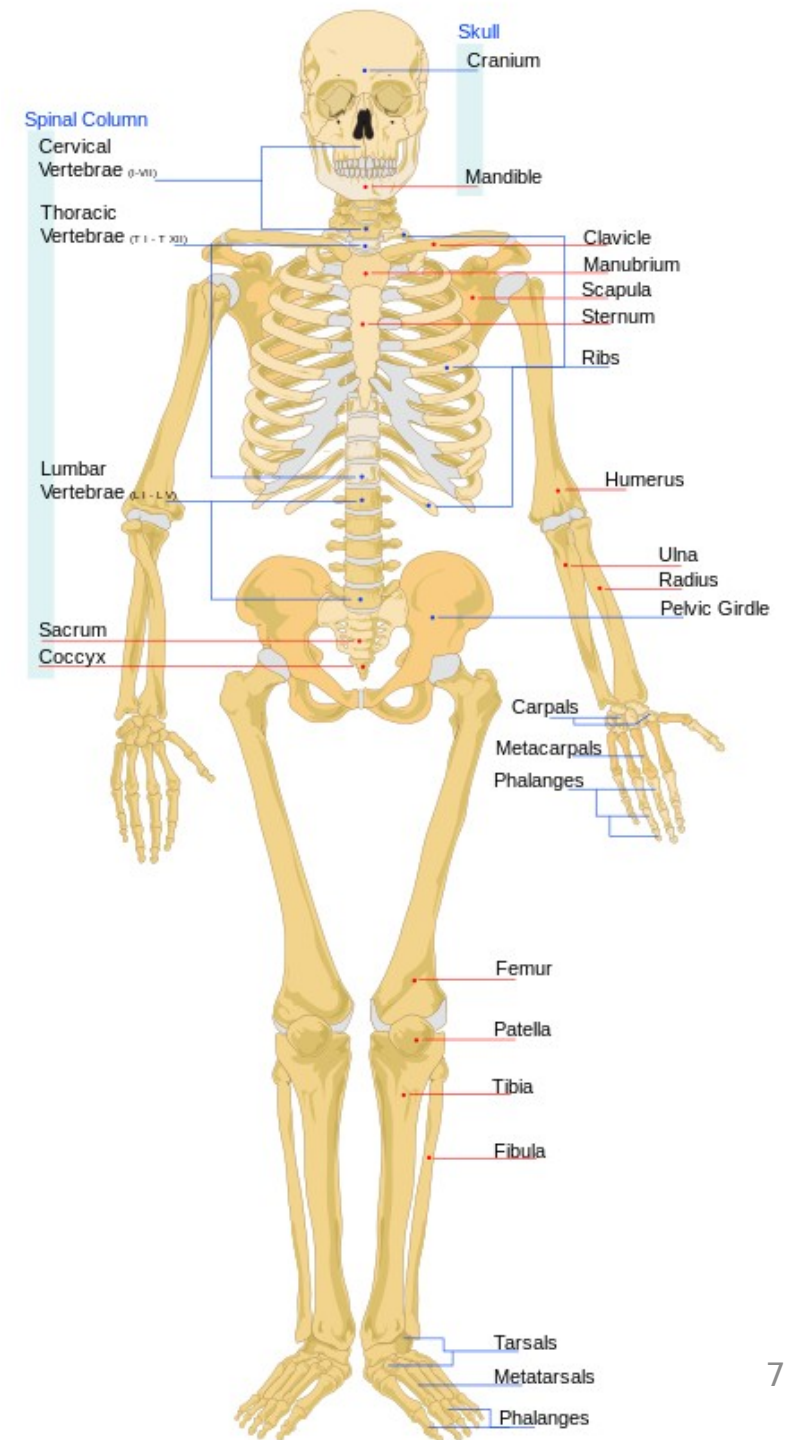


# Como os seres humanos controlam o movimento do corpo?

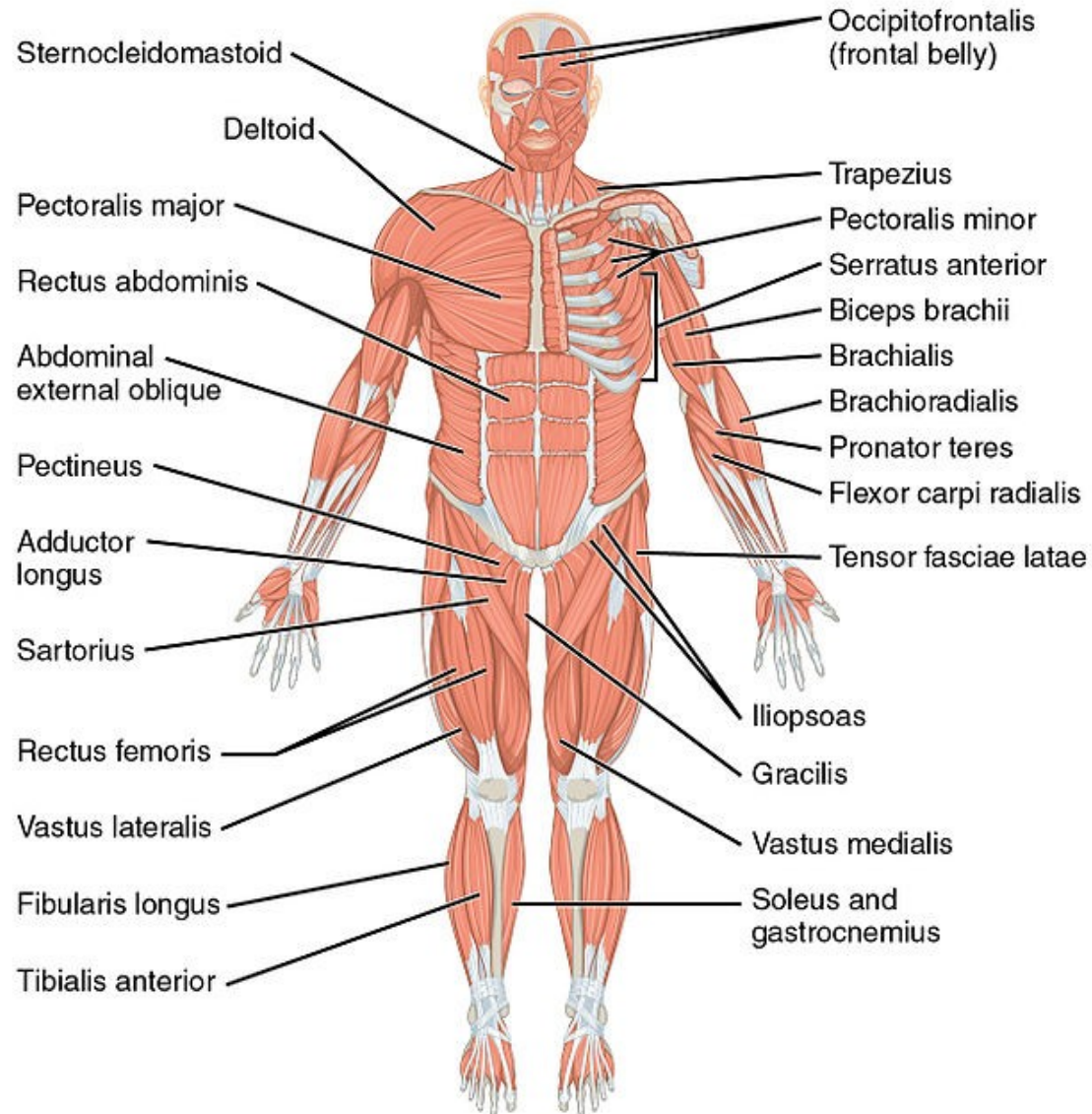
## **Corpo humano (sistema musculoesquelético):**

- Cerca de 206 ossos, dos quais 148 móveis, e 147 articulações (Zatsiorsky, 1998).
- Número de graus de liberdade (DoF) no espaço 3D considerando estes ossos formando corpo rígidos: 244 (Zatsiorsky, 1998).
- Cerca de 650 músculos (atuadores) que operam em par na articulação (agonista/antagonista).

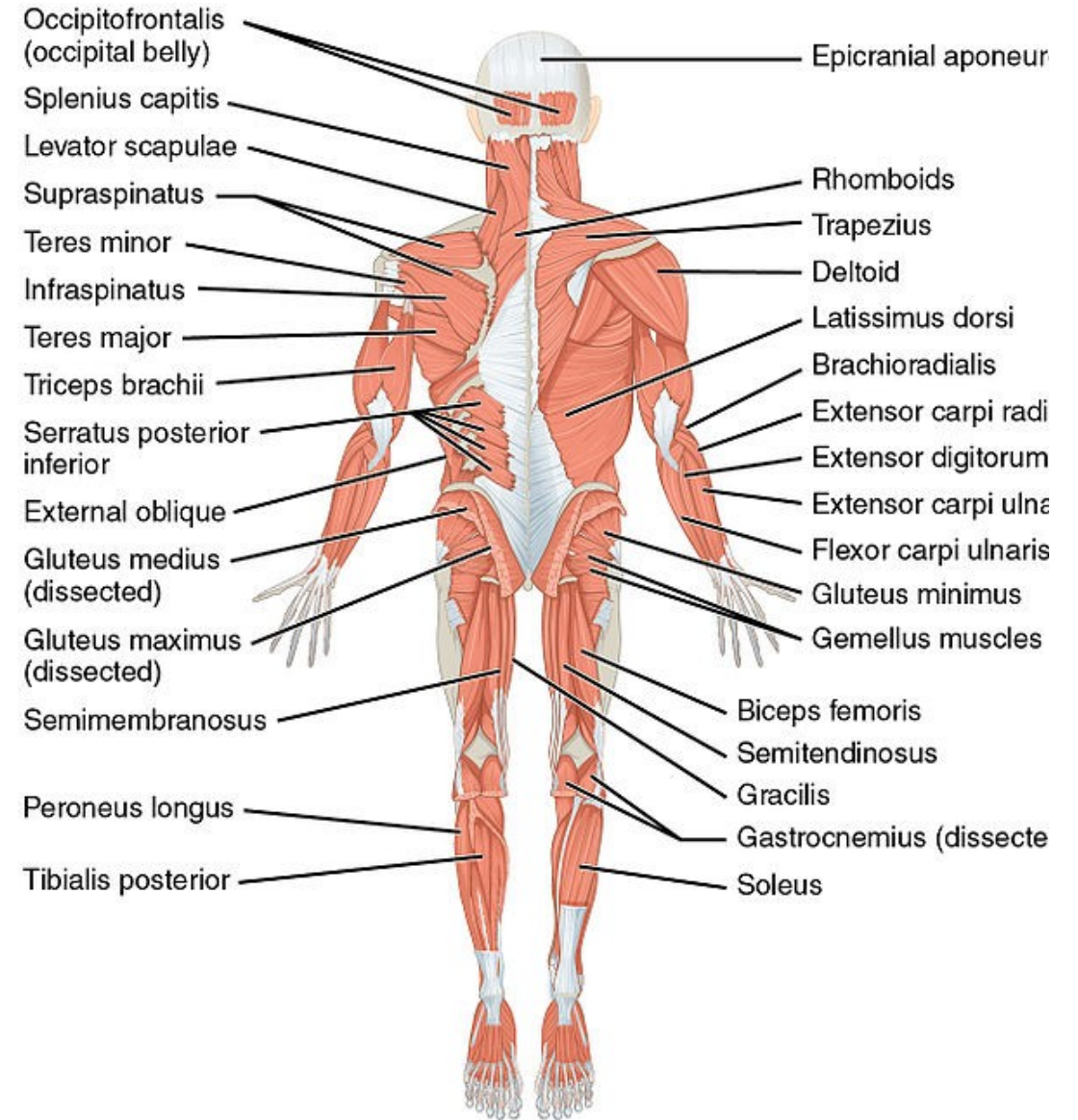
[http://en.wikipedia.org/wiki/Human\\_musculoskeletal\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Human_musculoskeletal_system)







Major muscles of the body.  
Right side: superficial; left side:  
deep (anterior view)



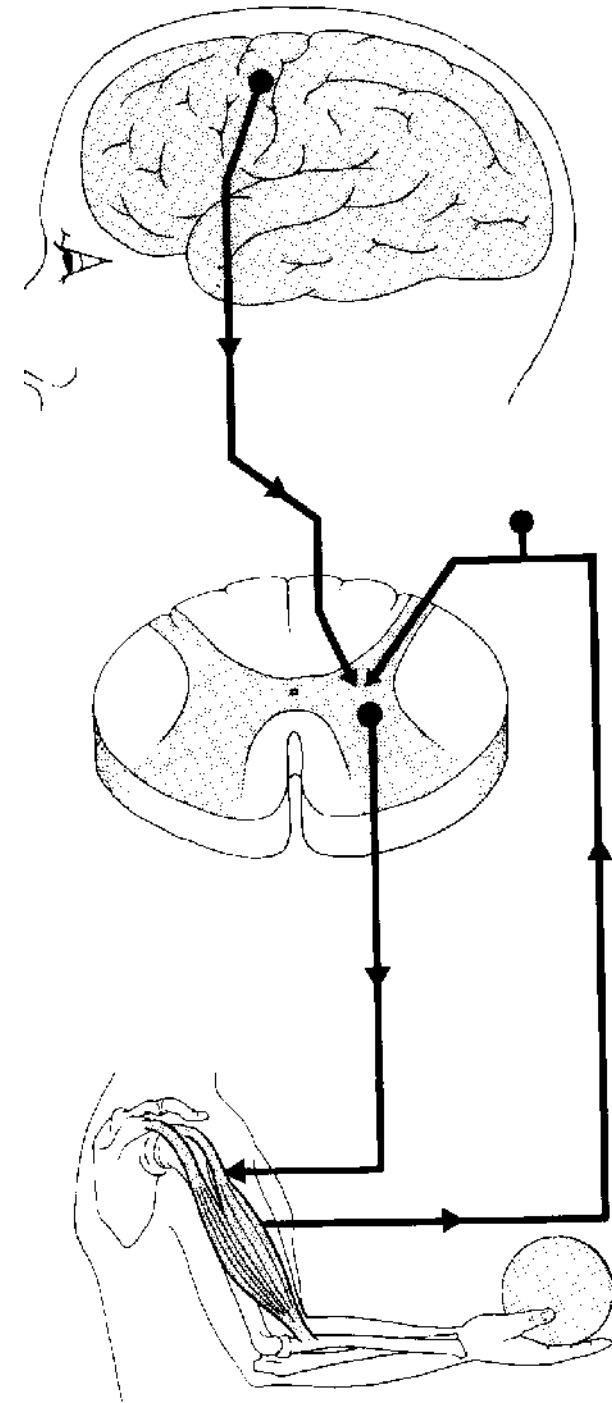
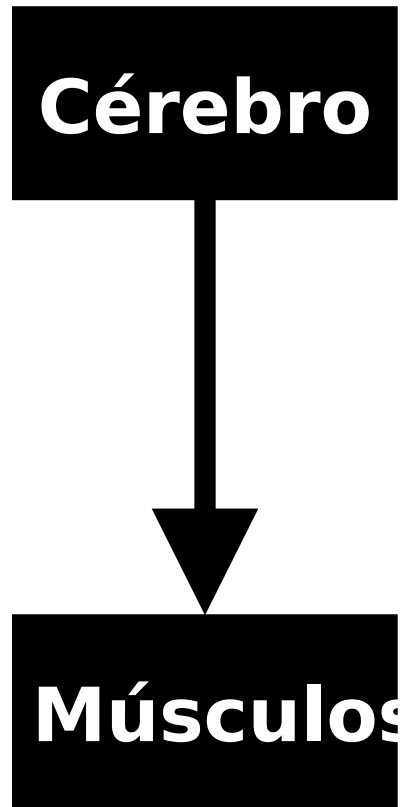
Major muscles of the body.  
Right side: superficial; left side:  
deep (posterior view)



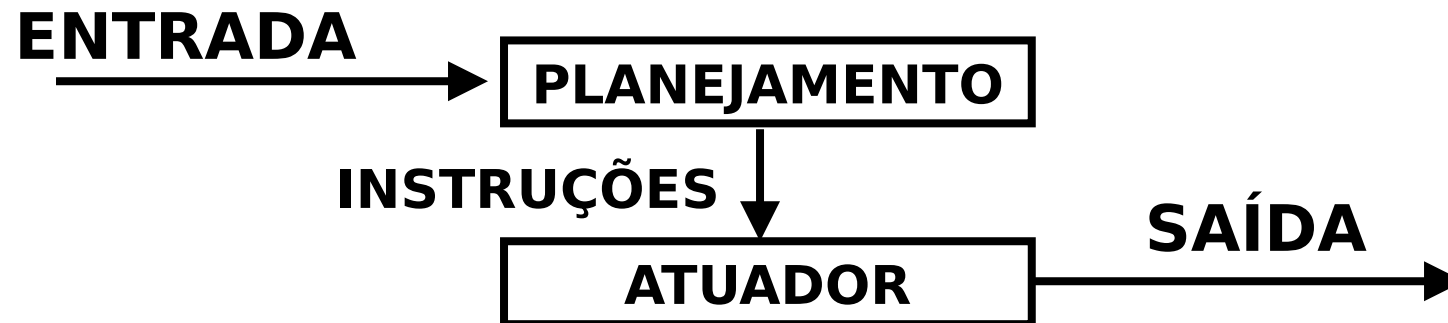
# Controle do movimento

- Como o movimento (posição, velocidade, força, etc.) dos segmentos do corpo são controlados?
- O problema é complexo (muitas variáveis) e há uma grande redundância (ou abundância), isto é, mais atuadores (músculos) do que necessário em princípio para realizar (controlar) o movimento.
- **Controle (coordenação) como um “Problema de Graus de Liberdade”**

# Como controlamos o movimento?



# Controle do movimento: um processo por malha aberta?



**Mas e se o movimento for complexo ou o ambiente mudar?**

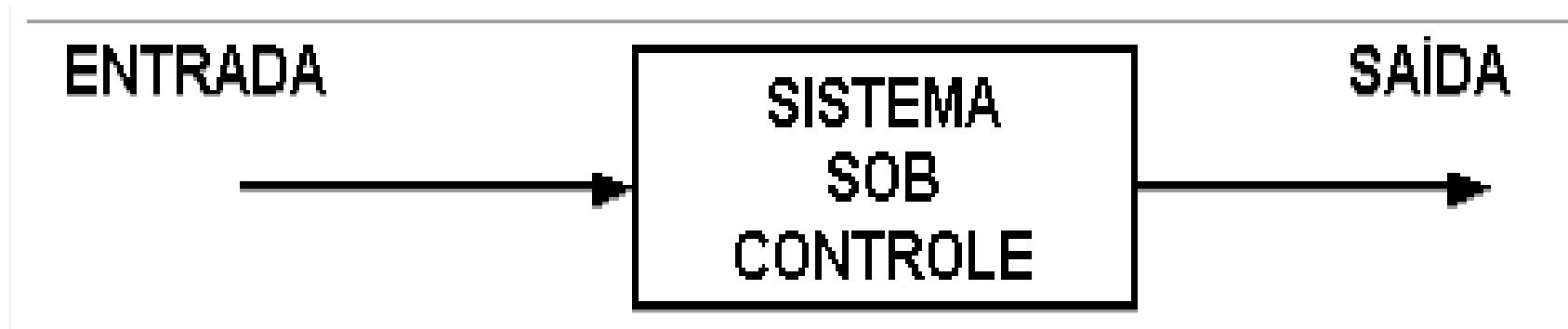


# Controle do movimento

- O corpo humano pode realizar muitos movimentos de diversas formas (muitos graus de liberdade).
- Na natureza e na engenharia, o controle de algo complexo requer não só o comando de ação (sinal eferente) mas também requer informações de seu estado para o sistema de controle (sinal aferente).

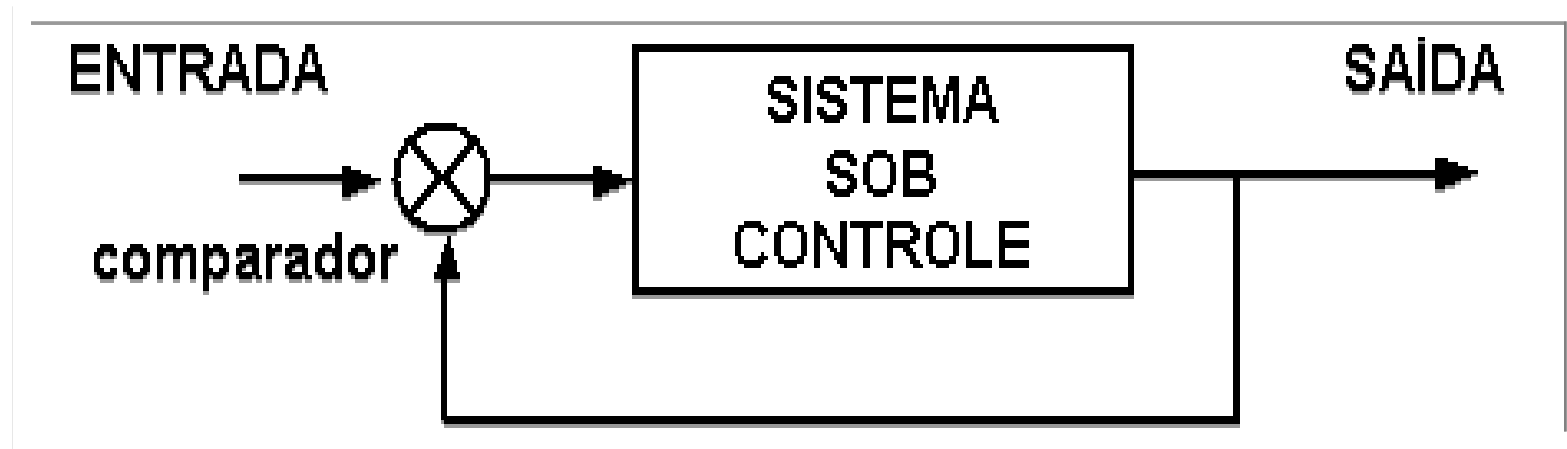
# Mecanismo de controle por FEEDFORWARD

- Um mecanismo de controle que opera sem feedback é chamado de feedforward:



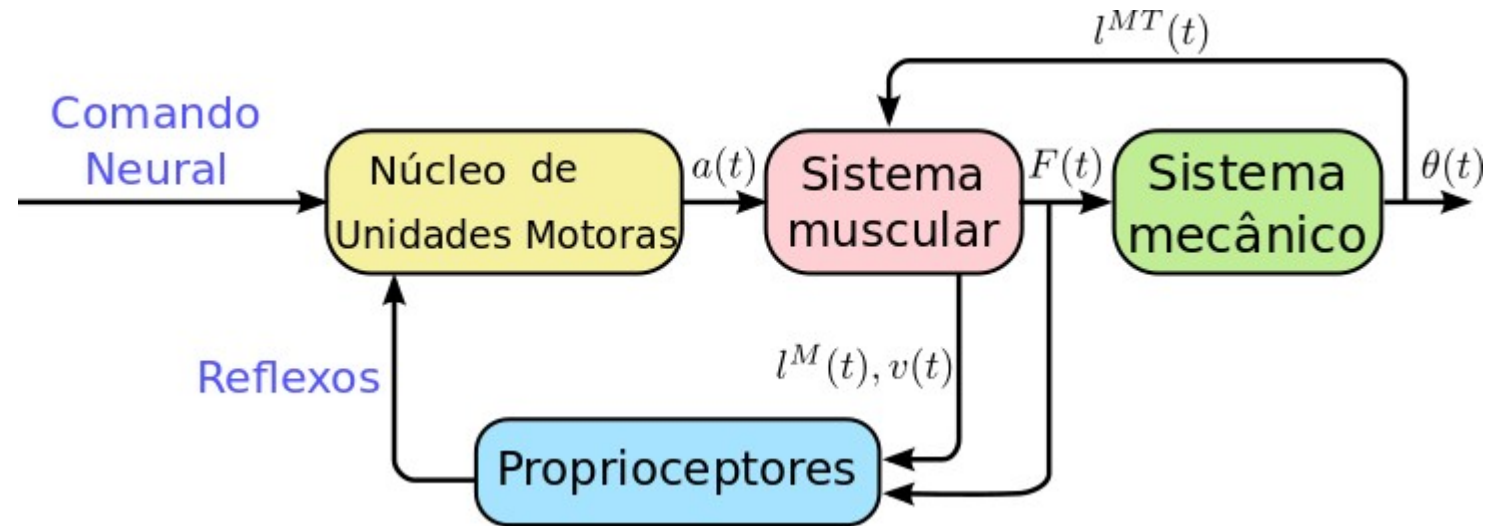
# Mecanismo de controle por **FEEDBACK**

- O mecanismo de controle que envolve vias eferentes e aferentes é chamado de feedback (realimentação):





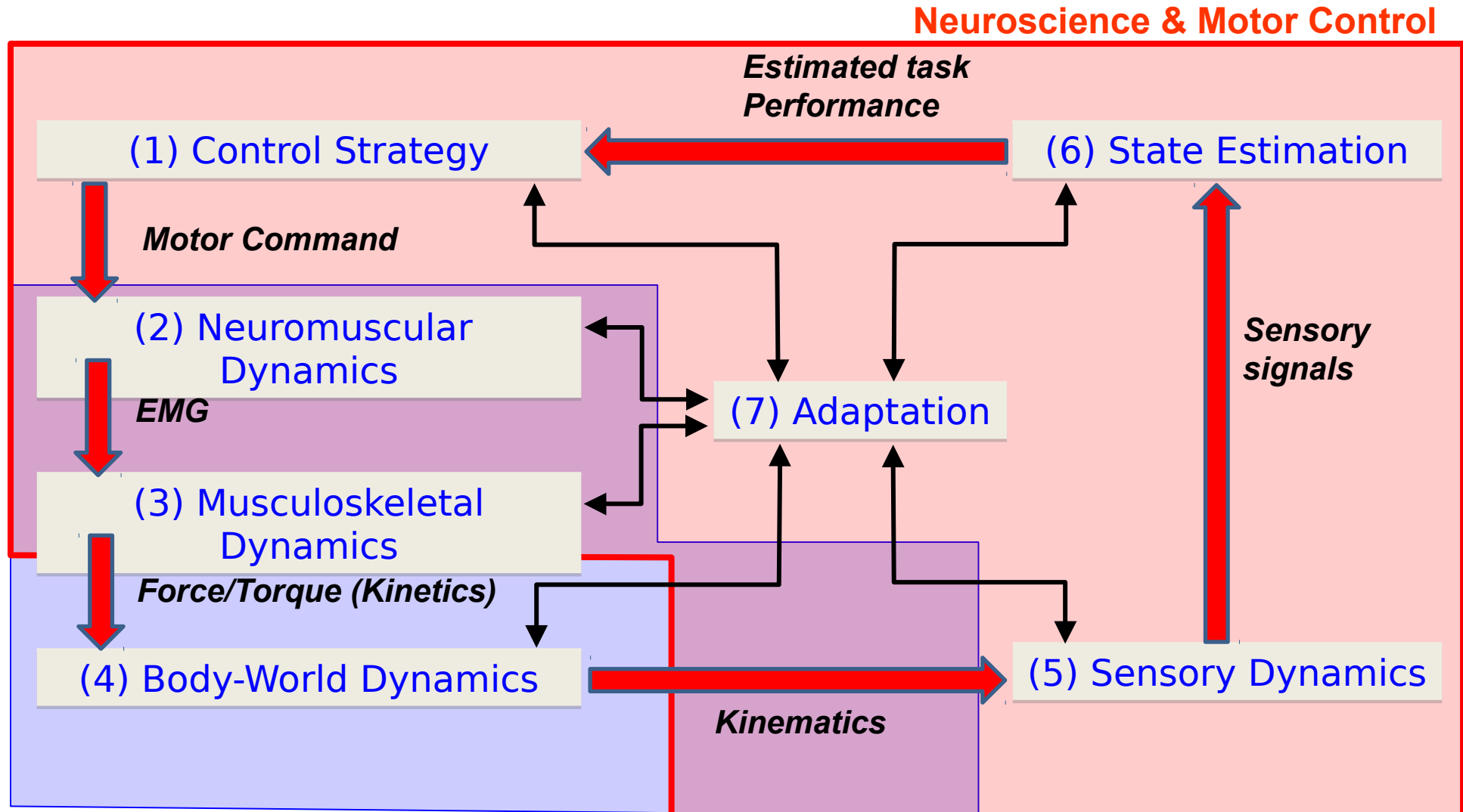
# Mecanismo de controle do movimento



# Biomechanics & Motor Control

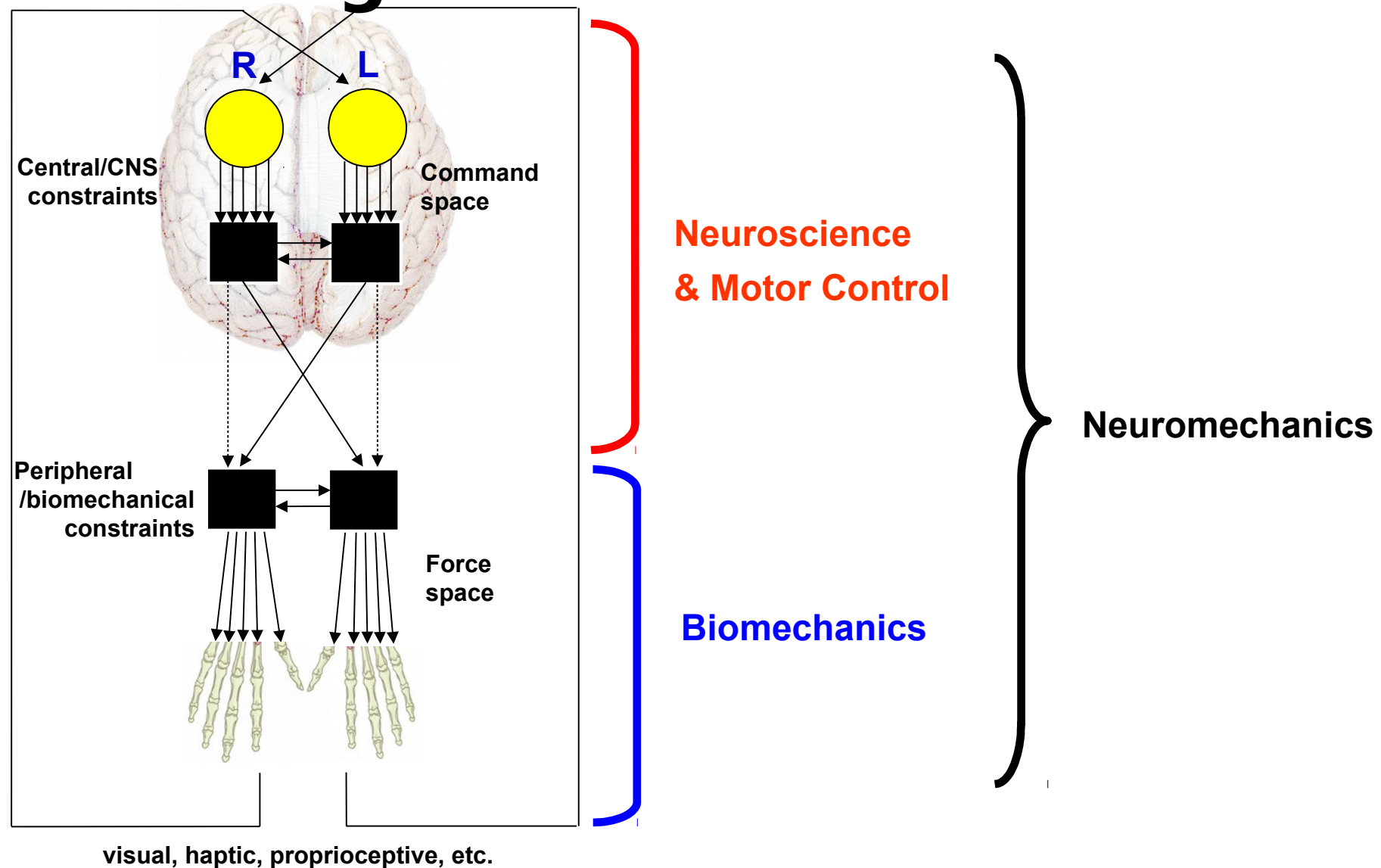
- **Biomechanics** is the study of the structure and function of biological systems by means of the methods of mechanics (Hatze, 1974).  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Biomechanics>
- **Motor control** is the process by which humans and animals use their neuromuscular system to activate and coordinate the muscles and limbs involved in the performance of a motor skill.  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Motor\\_control](http://en.wikipedia.org/wiki/Motor_control)

# “Boxology” of Neuromechanical Model





# Example: Biomechanics & Motor Control of Hand and Fingers



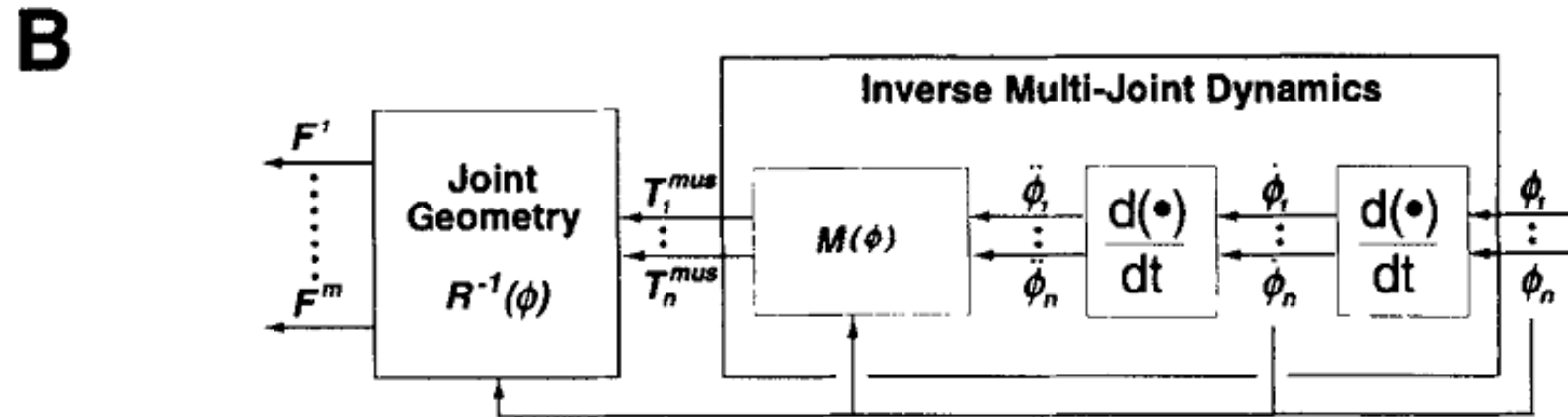
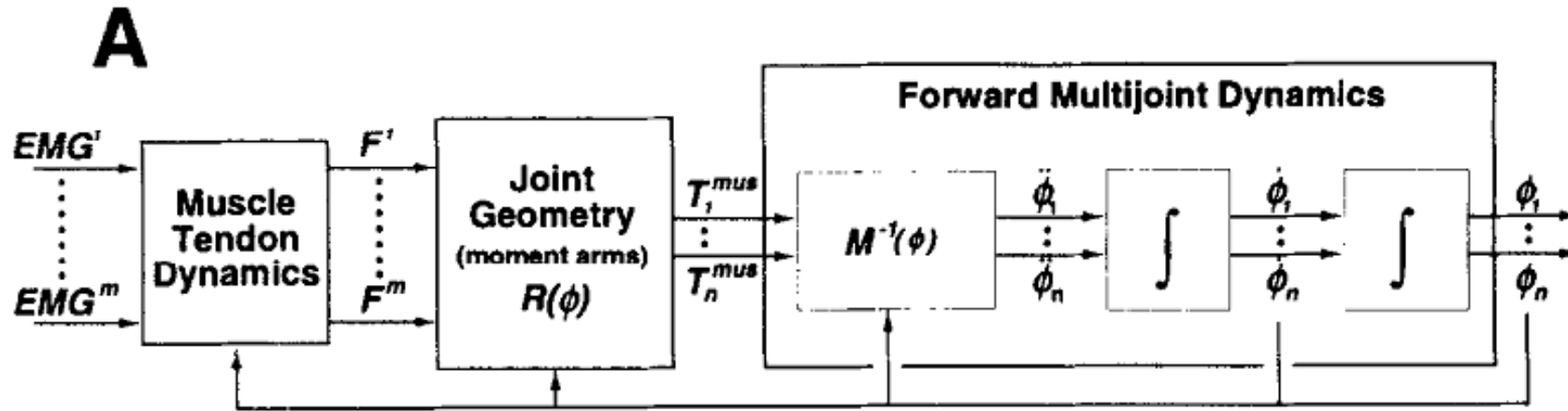
Adaptado de Shim et al. *Motor Control* (2007)

# Como estudar o controle do movimento?

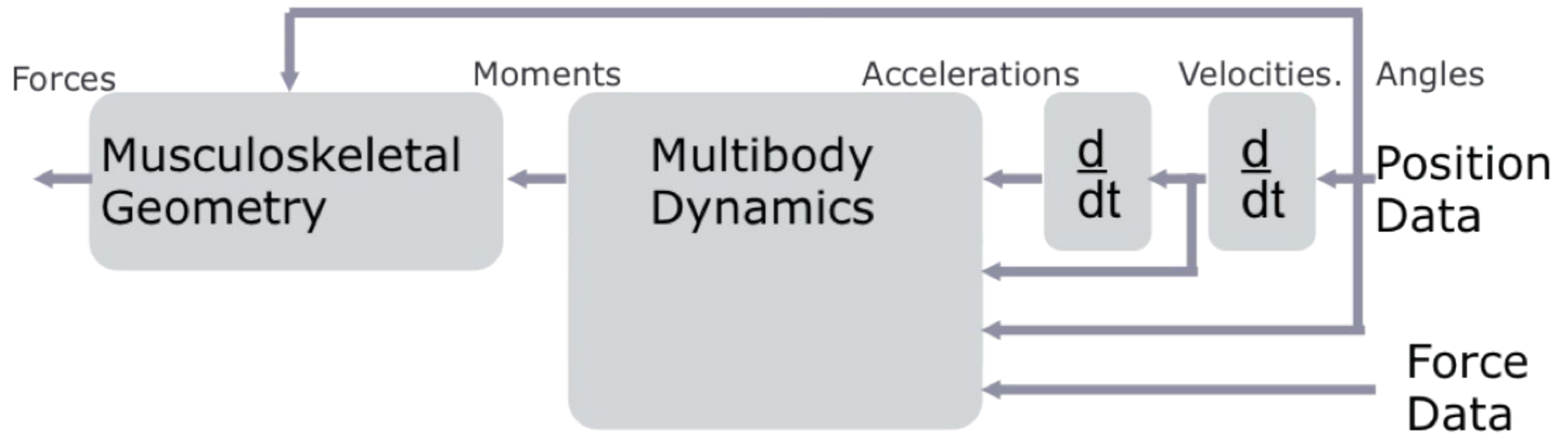
- Zajac (1993) argumenta que para compreender a “coordenação muscular” de muitos movimentos nós não devemos apenas observar (medir) o movimento. É essencial desenvolver um modelo biomecânico.
- Ainda segundo Zajac (1993), este modelo biomecânico deve ser um modelo de dinâmica direta, isto é, modelar e simular o controle do movimento tendo como entrada comandos neurais e como saída o movimento em si.

**Zajac FE (1993) Muscle coordination of movement: a perspective. J Biomech . 1993;26 Suppl 1:109-24.**

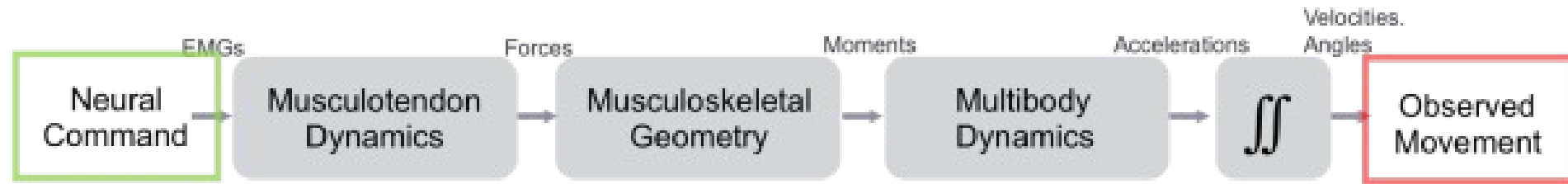
# Forward dynamics (A) and inverse dynamics (B) representation of the musculoskeletal system



# Abordagem por dinâmica inversa



# Abordagem por dinâmica direta



# Modelagem e simulação do movimento humano

- Estes tipos de abordagens (seja por dinâmica inversa ou direta) ignoram os detalhes do sistema nervoso central e focam na modelagem do sistema nervoso periférico (o sistema musculoesquelético).
- Os comandos neurais são simplesmente modelados por uma simples função matemática, o que costuma irritar um neurocientista...



# OpenSim:

<https://simtk.org/home/opensim>

“

OpenSim is a software platform for modeling humans, animals, robots, and the environment, and simulating their interaction and movement.

OpenSim has a graphical user interface (GUI) for visualizing models and generating and analyzing simulations.

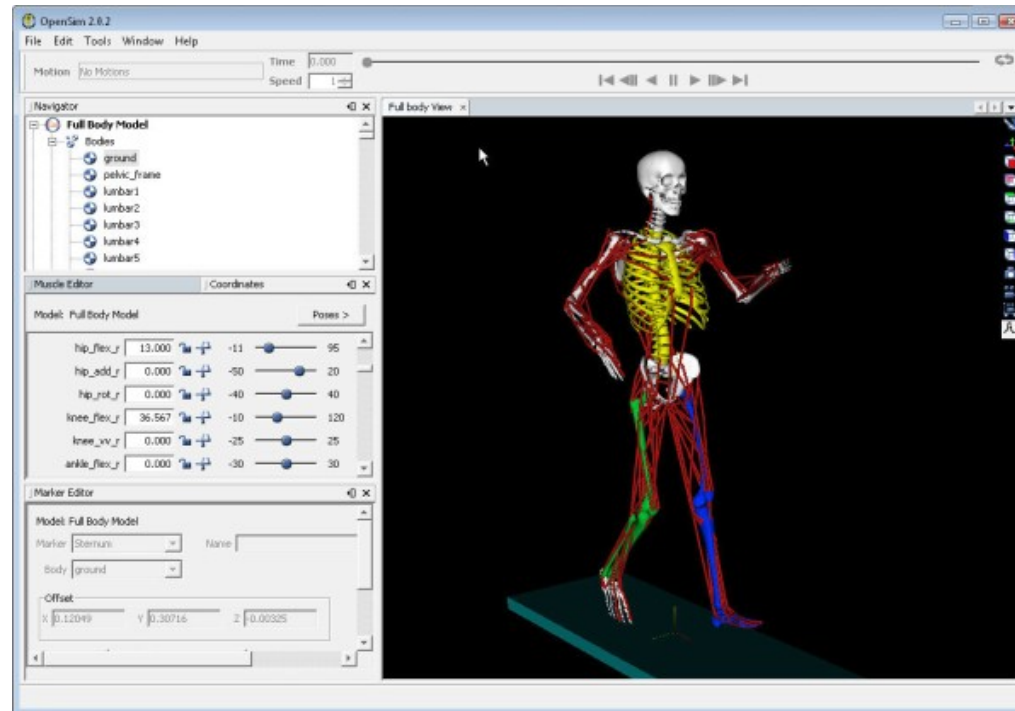
The open source and extensible software also includes an application programming interface (API) that developers can use to extend the software.

”

# OpenSim:

<https://simtk.org/home/opensim>

<https://www.youtube.com/watch?v=ME0VHfCtIM0>



# Simulação por dinâmica direta

- Simulação do sistema musculoesquelético do corpo humano por dinâmica direta é computacionalmente muito custoso por causa do grande número de variáveis e redundância.
- OpenSim oferece ferramentas para simplificar a solução por dinâmica direta utilizando a cinemática (conhecida) da movimento a ser simulado, controladores para controlar o corpo para gerar esta cinemática e otimização estática ([Computed Muscle Control](#), CMC).

# **Sobre o curso (2019)**

# Formato das aulas

- Discussão de artigos e outros textos.
- Resolução de problemas (maior parte deles com programação computacional)
- Realização dos tutoriais do OpenSim
- A maior parte do curso não será de aulas expositivas pelo professor

# Conteúdo do curso

Cerca de 24 aulas:

1. Apresentação do curso (1)
2. Computação científica (2)
3. OpenSim (1)
4. Conceitos de modelagem e simulação (2)
5. Controle, equações diferenciais e integração numérica (3)
6. Modelagem e simulação muscular (6)
7. Modelagem e simulação do sistema músculoesquelético (5)
8. OpenSim (4)



# Avaliação do curso

- M = Média das 17 melhores notas de exercícios computacionais e perguntas sobre os textos indicados.
- A conversão para a escala de notas será:
  - A –  $M \geq 8.5$
  - B –  $8.5 > M \geq 7.0$
  - C –  $7.0 > M \geq 5.5$
  - D –  $5.5 > M \geq 4.5$
  - F –  $M < 4.5$

# Aula 1

- Introdução
  - Controle do movimento humano, modelagem e simulação
  - Informações sobre o curso
- [OpenSim software](#)
- [Github](#)

Tarefas (para quarta-feira):

1. Instalar o OpenSim e fazer os três primeiros tutoriais (menu Help).