

# Controle Motor

(Introduction to modeling and simulation of human movement)


**Marcos Duarte**

[marcos.duarte@ufabc.edu.br](mailto:marcos.duarte@ufabc.edu.br)

UFABC, 2015

1

## Movimento nos seres vivos

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

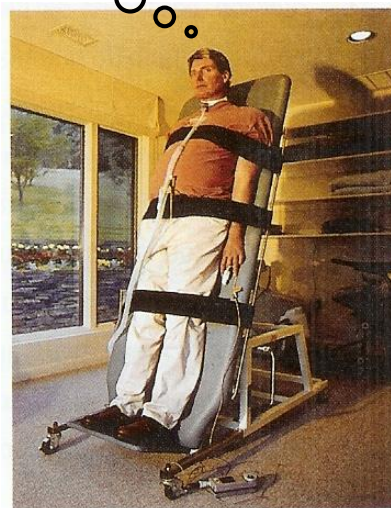
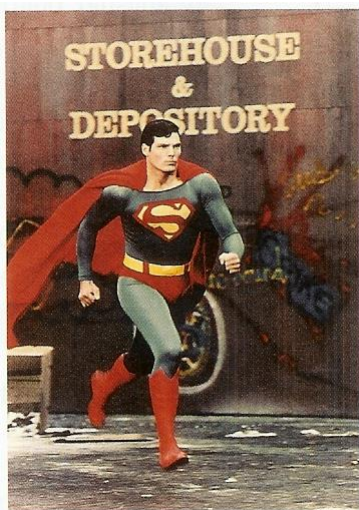
2

Como me movimentar?



3

Como me movimentar?



4

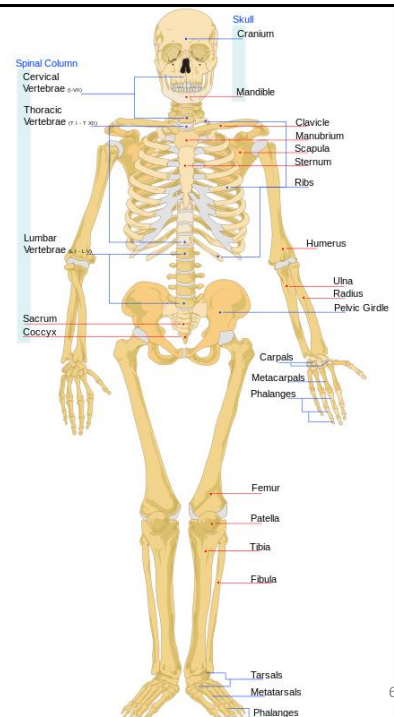
# Como os seres humanos controlam o movimento do corpo?

## 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).

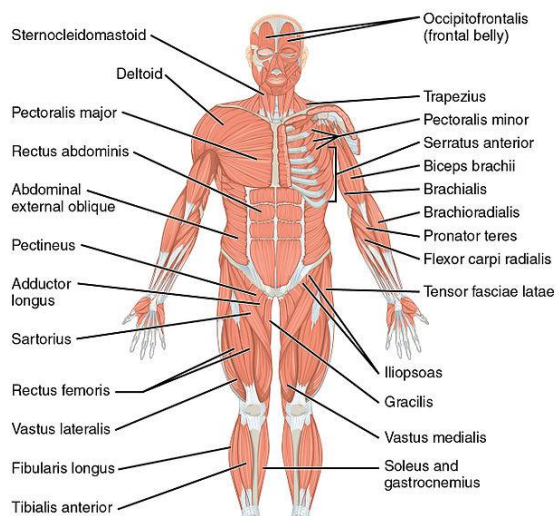
5

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

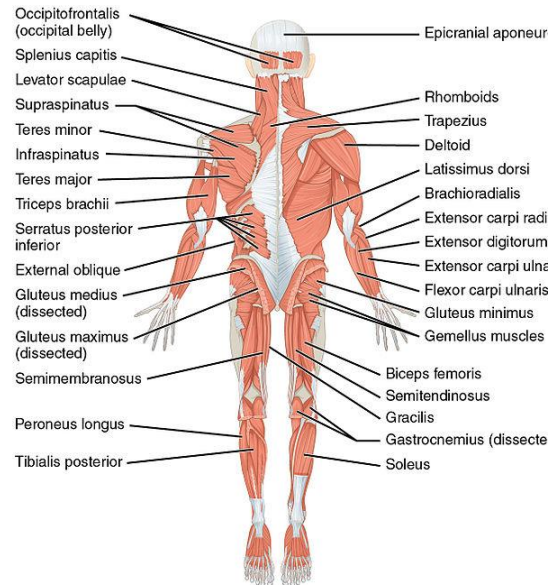


6

[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)

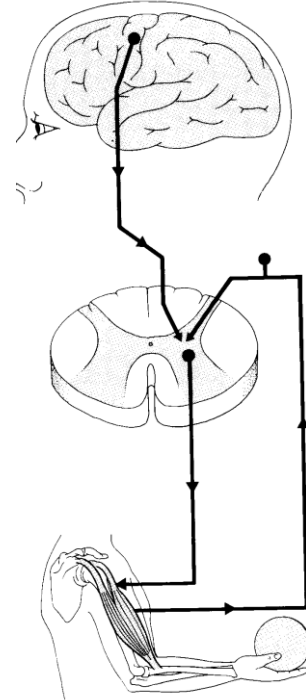
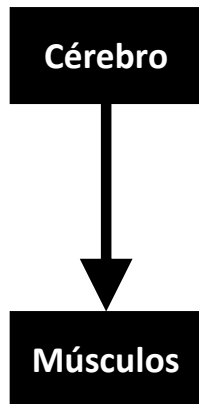
7

## 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 principio para realizar (controlar) o movimento.
- **Controle (coordenação) como um “Problema de Graus de Liberdade”**

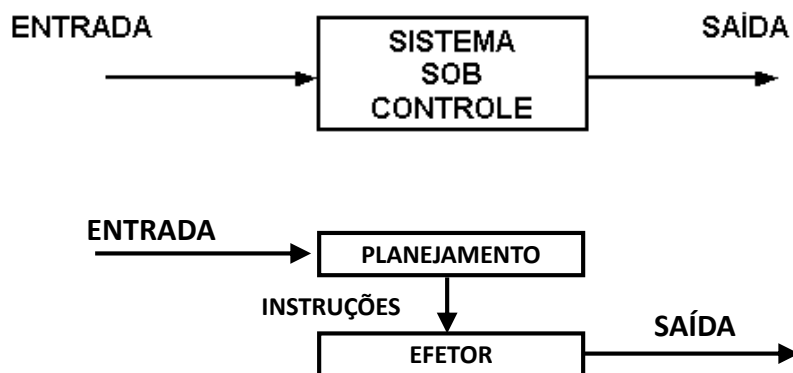
8

## Como controlamos o movimento?



9

## Controle do movimento: um processo por circuito aberto?



## Mas se o movimento for complexo?

10

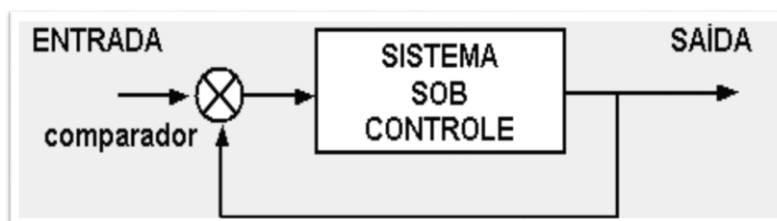
## Controle do movimento

- 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).

11

## Mecanismo de controle por FEEDBACK

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



12

## Mecanismo de controle por FEEDFORWARD

- Um mecanismo de controle que opera sem feedback é chamado de feedforward (alimentação direta):



13

## Biomechanics & Motor Control

- **Biomechanics** is the study of the structure and function of biological systems by means of the methods of mechanics (Hatze, 1974).

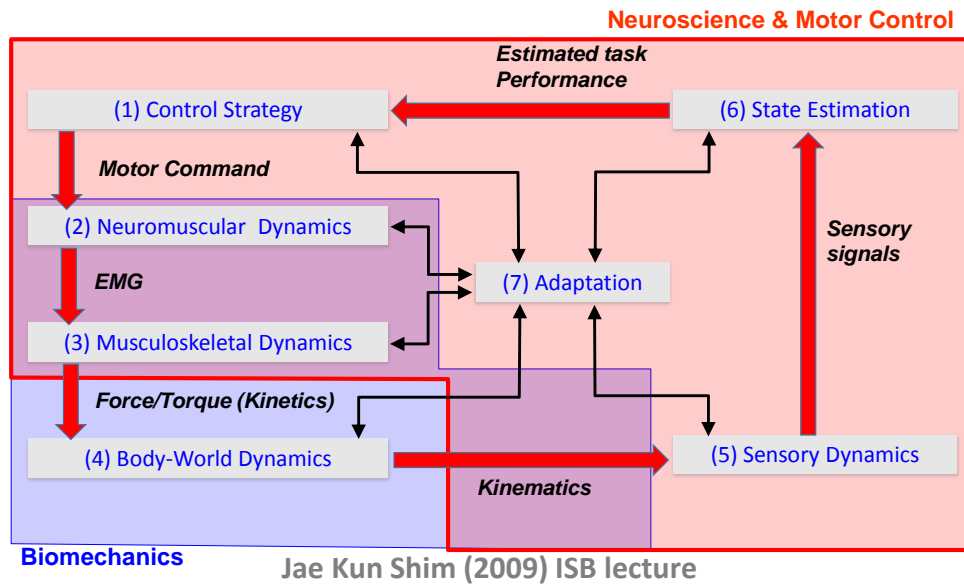
<http://en.wikipedia.org/wiki/Biomechanics>

- **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)

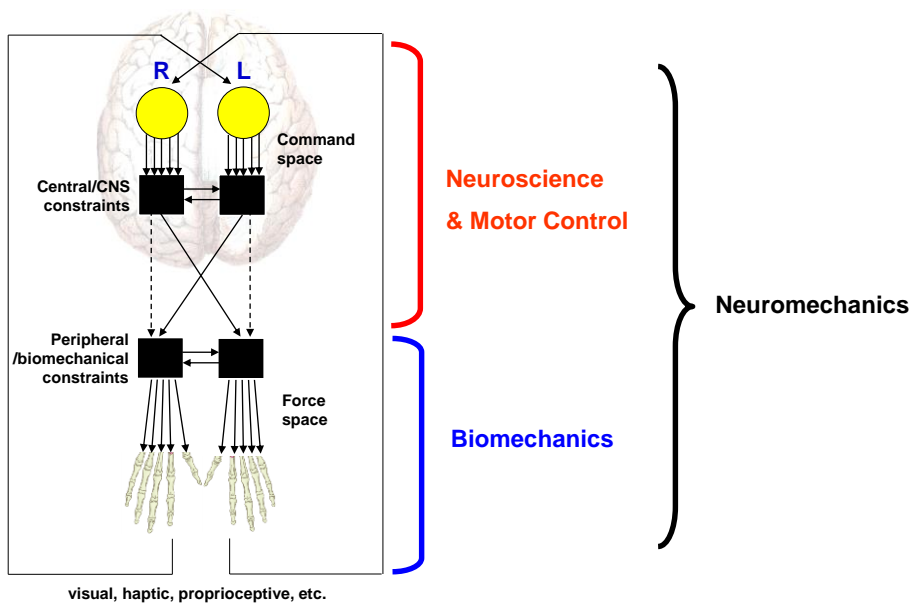
14

# “Boxology” of Neuromechanical Model



15

## Example: Biomechanics & Motor Control of Hand and Fingers



Shim et al. *Motor Control* (2007)

16



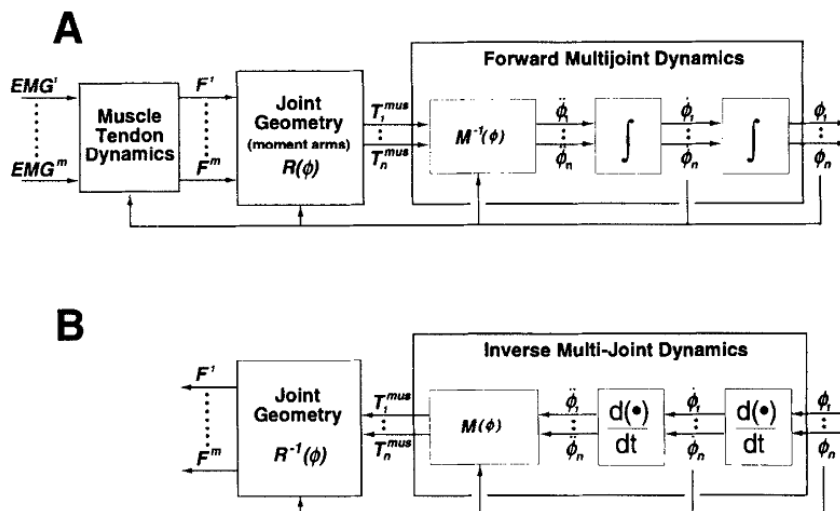
# Como estudar o controle do movimento?

- 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 saída o movimento em si.

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

17

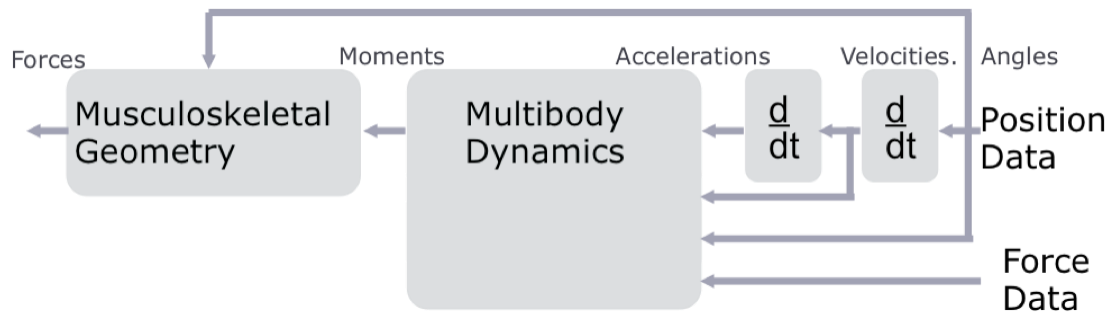
Forward dynamics (A) and inverse dynamics (B) representation of the musculoskeletal system



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

18

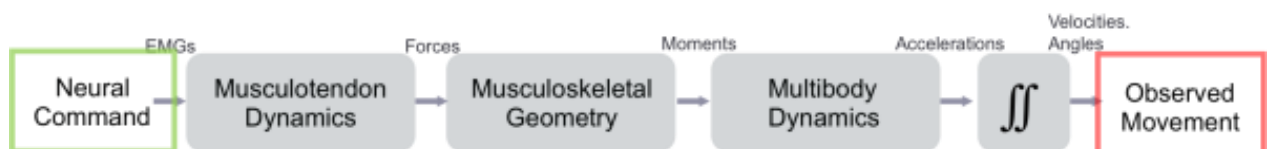
## Abordagem por dinâmica inversa



<http://simtk-confluence.stanford.edu:8080/display/OpenSim/Overview+of+the+OpenSim+Workflow>

19

## Abordagem por dinâmica direta



<http://simtk-confluence.stanford.edu:8080/display/OpenSim/Overview+of+the+OpenSim+Workflow>

20

## 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...

21

## 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.

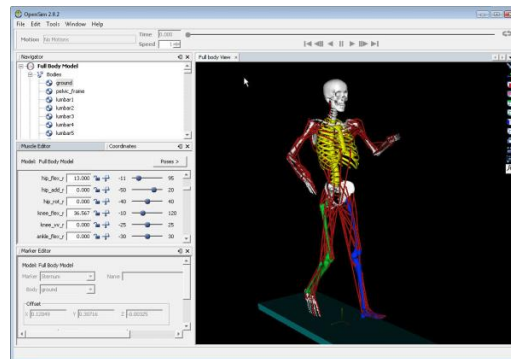
”

<http://simtk-confluence.stanford.edu:8080/display/OpenSim/About+OpenSim>

22

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

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



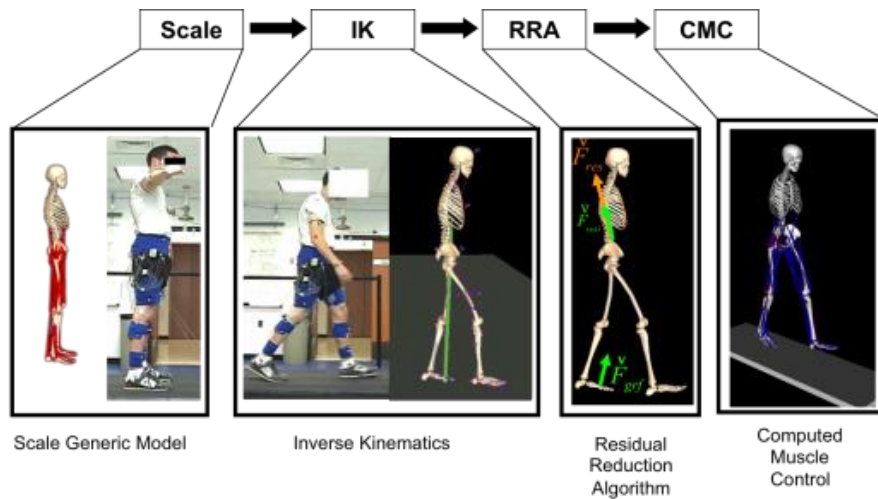
23

## Simulação por dinâmica direta

- Mas 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](#)).

24

## Típico workflow no OpenSim para dinâmica direta



<http://simtk-confluence.stanford.edu:8080/display/OpenSim/Overview+of+the+OpenSim+Workflow>

25

Sobre o curso (2015)

26

## Pré-requisitos do curso

- Domínio de biomecânica (matemática e física)
- Domínio de alguma linguagem de programação científica, por exemplo, Matlab ou Python.
- Domínio do inglês (leitura de muitos textos)
- Computador com OpenSim (MS Windows) e Matlab ou Python
- Tempo

27

## Conteúdo do curso

Cerca de 20 aulas:

1. Apresentação do curso (1)
2. OpenSim (1)
3. Conceitos de modelagem e simulação (1)
4. Modelagem e simulação muscular (3)
5. Equações diferenciais e integração numérica (2)
6. Modelagem e simulação do sistema músculoesquelético (4)
7. Otimização (2)
8. OpenSim (6)

28

## Formato das aulas

- Discussão dos 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

29

## Avaliação do curso

- 2 provas (no meio e no fim do curso) e exercícios
- A conversão para a escala de notas será:

$$A \geq 8.5$$

$$8.5 > B \geq 7.0$$

$$7.0 > C \geq 5.5$$

$$5.5 > D \geq 4$$

30

# Semana 1

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

Tarefas:

## 1. Leituras:

- [Zajac FE \(1993\) Muscle coordination of movement: a perspective. J Biomech. 1993;26 Suppl 1:109-24.](#)
- [Delp SL, Anderson FC, Arnold AS, Loan P, Habib A, John CT, Guendelman E, Thelen DG \(2007\) OpenSim: open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. IEEE Trans Biomed Eng. 2007 Nov;54\(11\):1940-50.](#)
- [Pandy MG \(2001\) Computer modeling and simulation. Annu. Rev. Biomed. Eng., 3:245–73.](#)

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

31