



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Artificial compensation of neuromotor disabilities

Arturo Forner-Cordero

(aforner@usp.br)



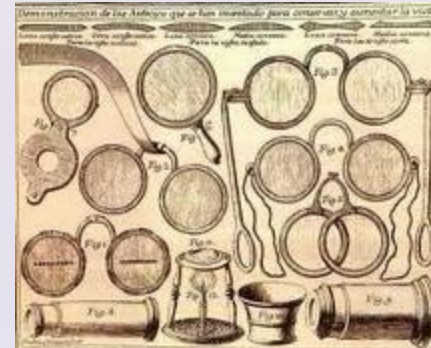
Conteúdo

1. Introdução
2. Sistemas mecânicos artificiais
3. Sistemas de atuação artificiais
4. Sistemas sensoriais artificiais
5. Sistemas de controle motor artificiais



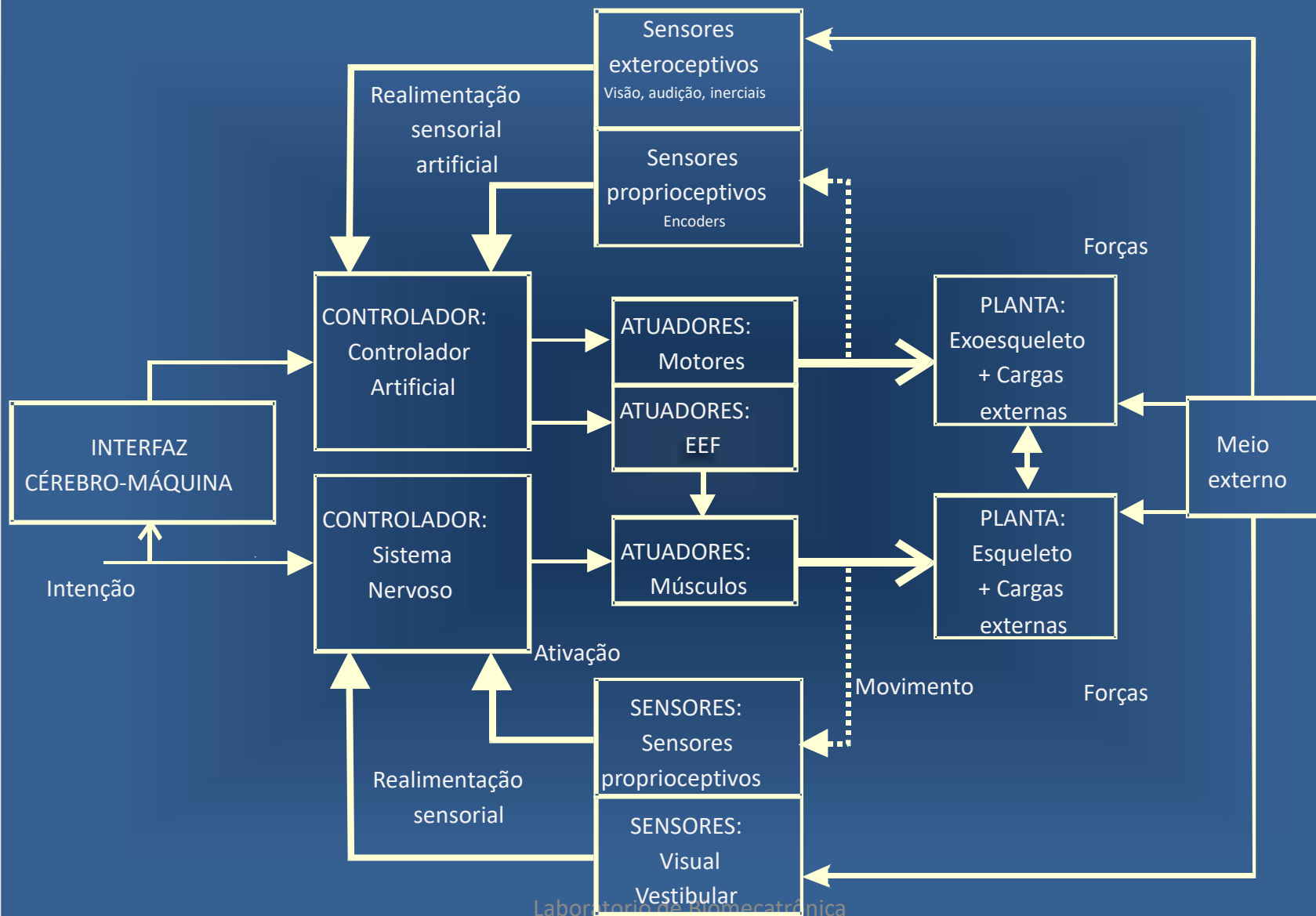
Introdução

- O ser humano desenvolve desde sempre dispositivos para compensar deficiências





Sistema motor humano-robot





Objetivos

- Apresentar sistemas de compensação funcional:
 - Mecânicos
 - Sensoriais
 - Atuação
- Apresentar a evolução dos sistemas
- Fornecer os conceitos básicos para o desenvolvimento de sistemas robóticos para compensação funcional.



Conteúdo

1. Introdução

2. Sistemas mecânicos artificiais

- Próteses, órteses e exoesqueletos
- Controle do movimento das próteses e órteses
- Marcha ortésis e protésica

3. Sistemas de atuação artificiais

4. Sistemas sensoriais artificiais

5. Sistemas de controle motor artificiais



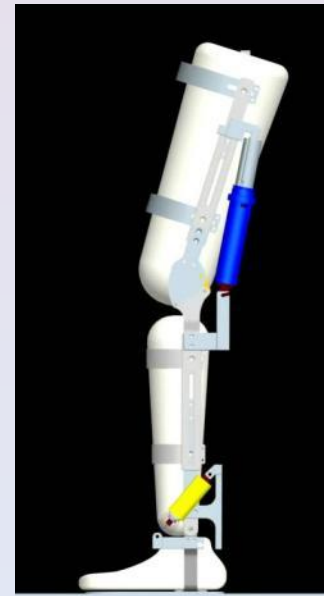
Sistemas mecânicos artificiais

- Prótese: Substituto funcional de parte do corpo humano
- Órtese: dispositivo externo para correção, suporte ou estabilização.
- Exoesqueleto robótico: evolução das órteses:
 - Ativos
 - Compensação da função

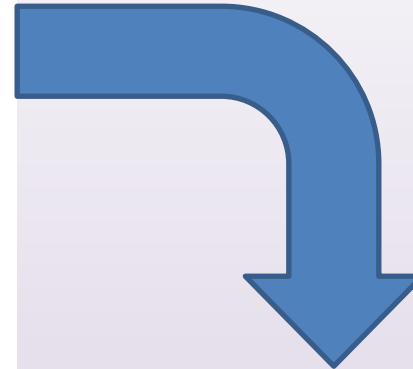
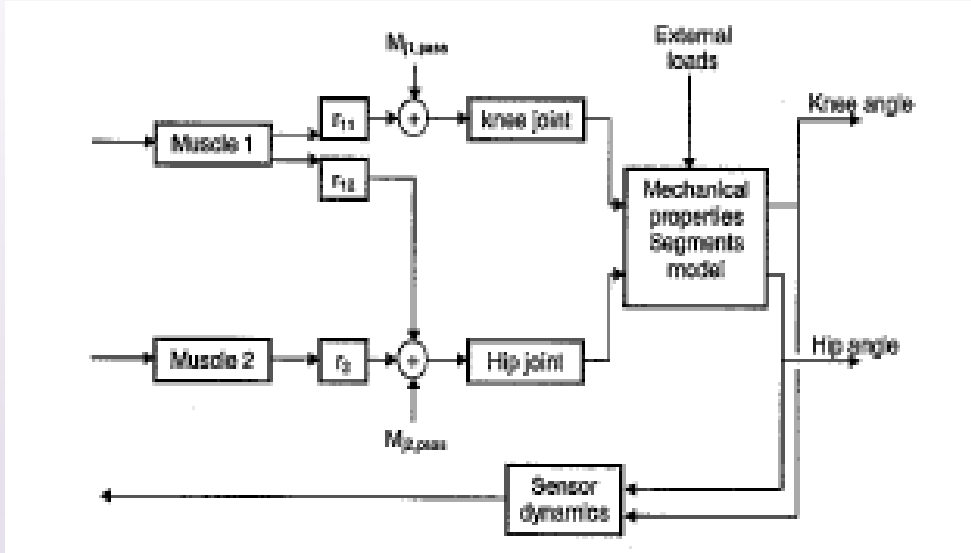


Controle motor dos dispositivos

- **Prosteses:**
 - Substituição do segmento pela órtese
 - Igual nº de graus de liberdade
 - Diferenças: parâmetros inerciais, segmentais...
- **Órteses:**
 - Segmentos atuando em paralelo
 - Aumenta o nº de graus de liberdade
 - Malha cinemática:
 - Conexões não rígidas



Modelo de controle

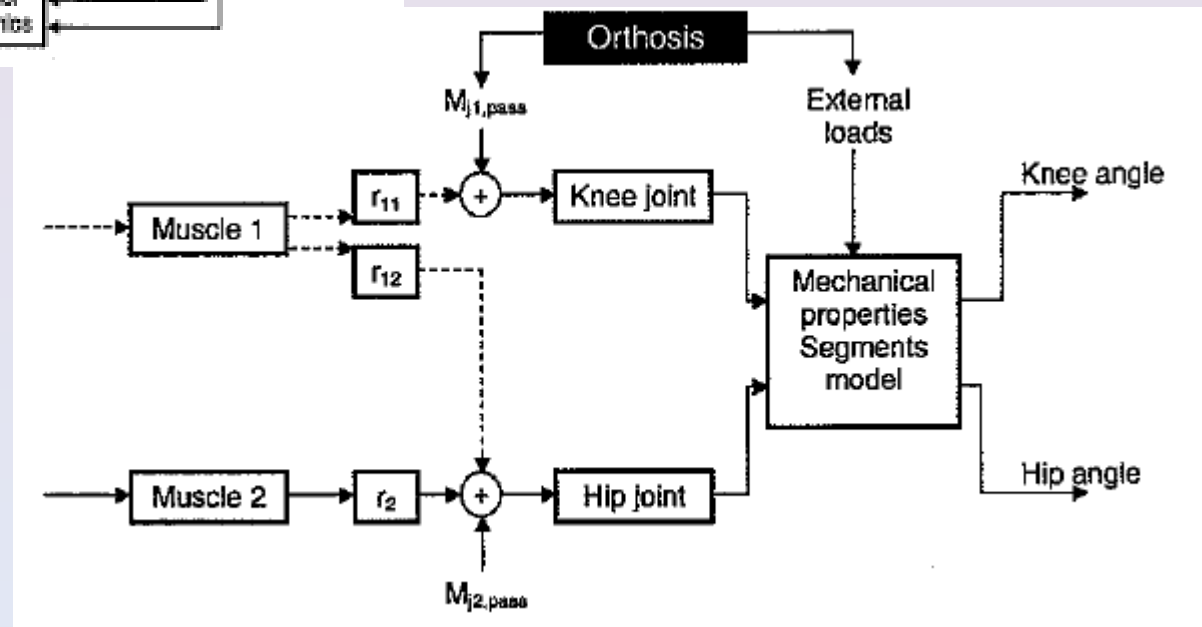


Órtese de joelho

- Aumenta a rigidez da articulação

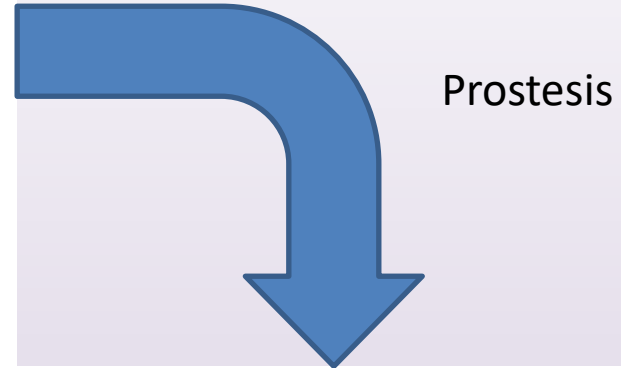
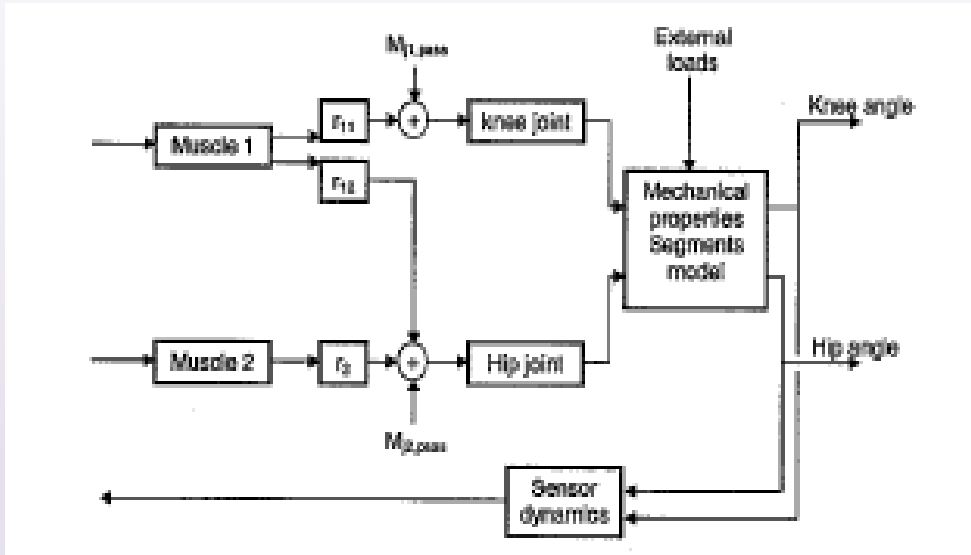
Exoesqueleto de joelho

- Aplica um movimento a articulação

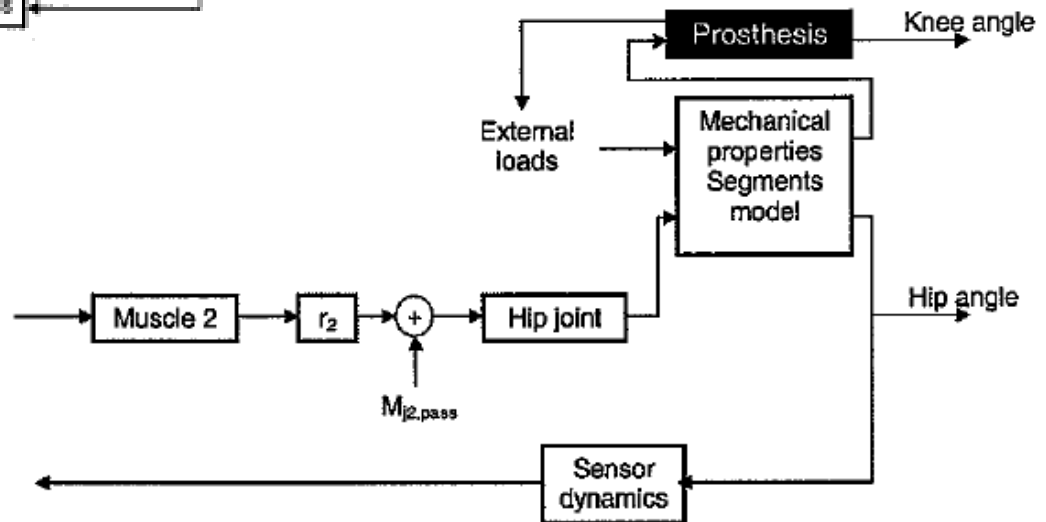




Modelo de controle



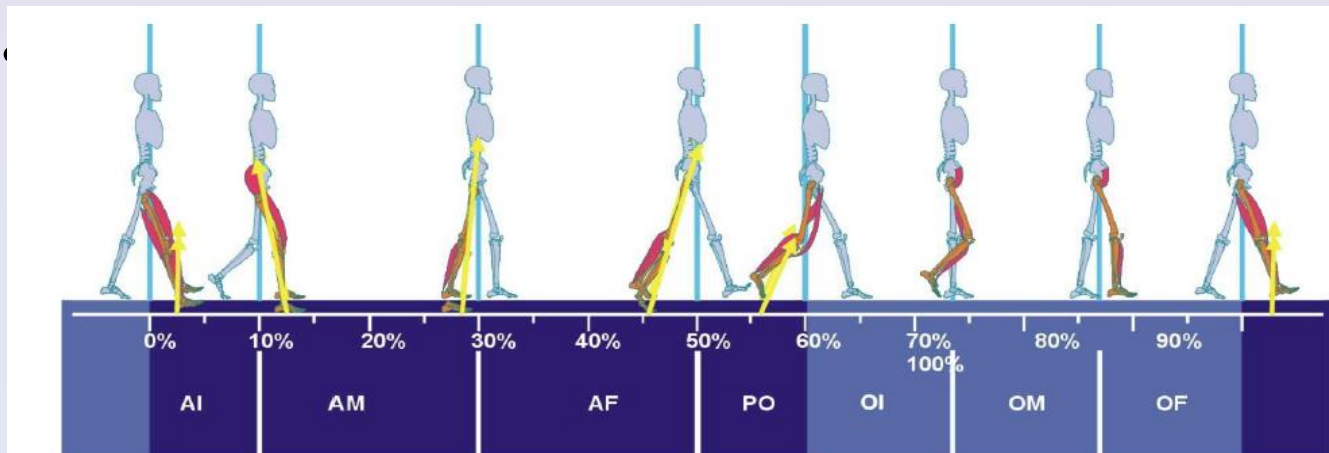
- Não têm músculo
- Opera em serie
- Controle de malha aberta
- Atuadores: problema de segurança





Marcha ortésica e protésica

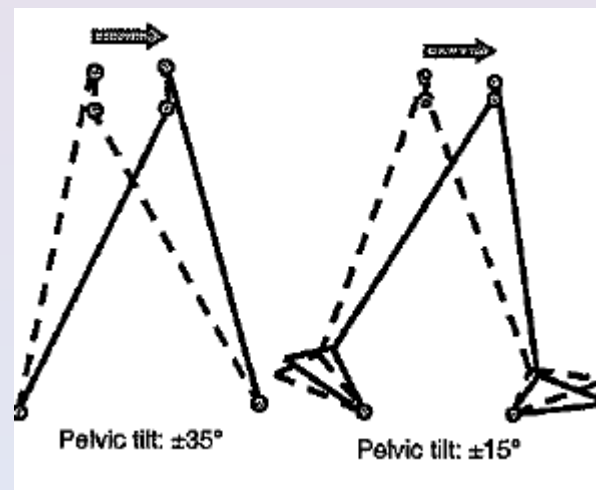
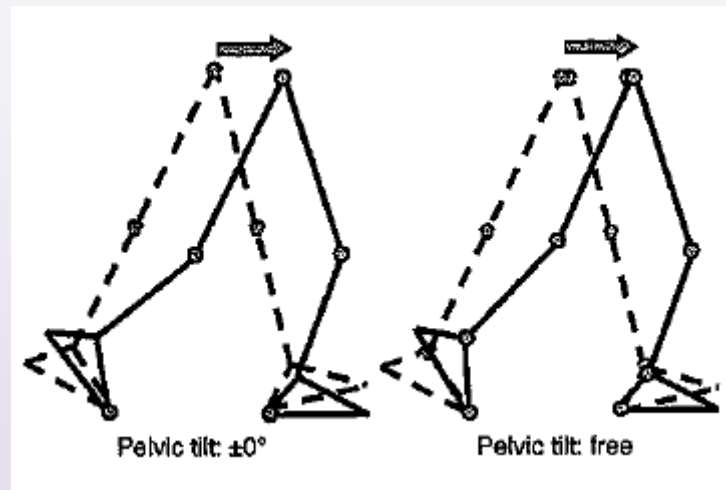
- Ciclo de marcha
 - Apoio duplo
 - Fase de oscilação (apoio simple)
 - Eventos:
 - Contatos:
 - Calcanhar





Fase de apoio duplo

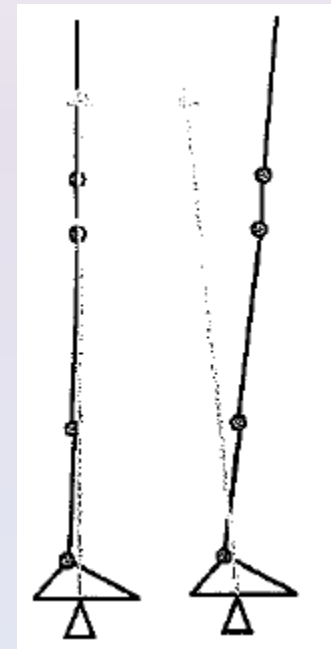
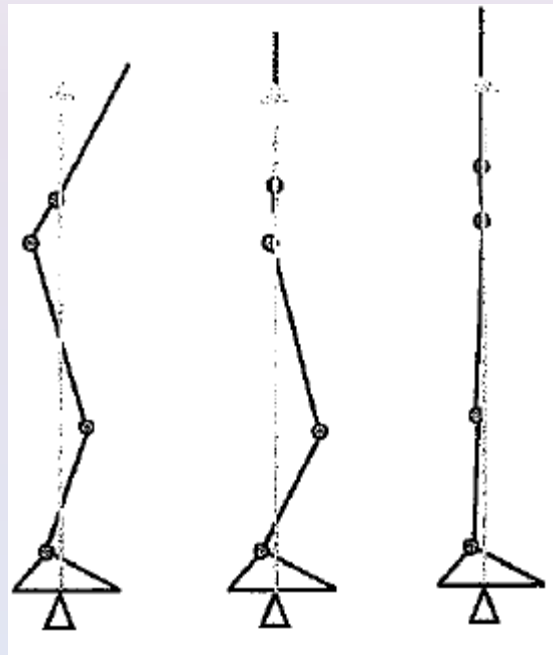
- Maximizar apoio duplo
=> Estabilidade
 - Gdl da perna
- Caminhar com órtese ou prótese:
 - Aumento da inclinação pélvica
 - Redução:
 - Velocidade
 - Comprimento do passo
 - Apoio duplo





Equilíbrio postural

- Pendulo invertido
- Redução de graus de liberdade





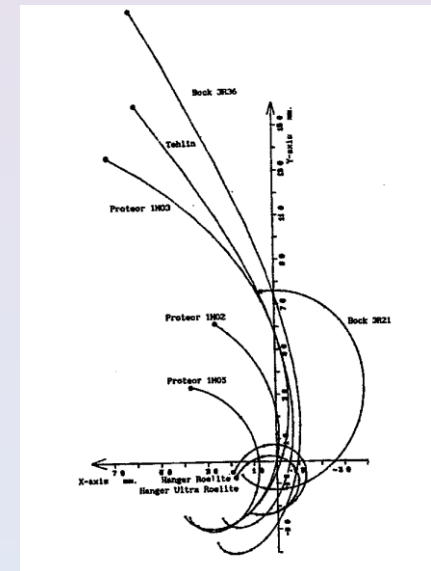
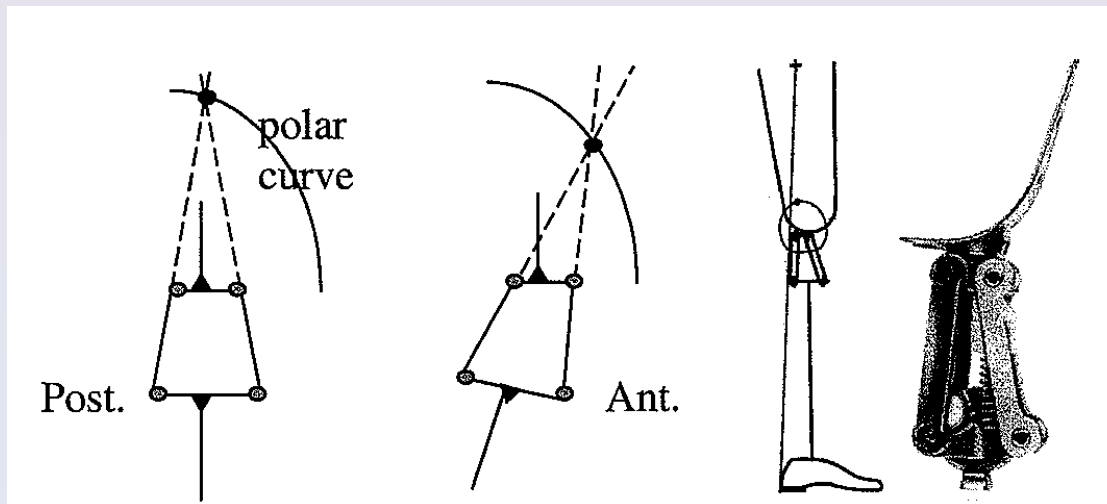
Controlabilidade

- Próteses ativas:
 - Marcha:
 - Elevado consumo: joelho= 200W
 - Baixa confiabilidade
 - Braço:
 - Menos crítico
 - Consumo mais baixo
- Mecanismos para o joelho:
 - Lock/unlock



Controlabilidade do joelho

- Bloqueio por hiperextensão do joelho
- Mecanismos multiaxiais:
 - Típico de 4 barras:
 - O centro de rotação depende do ângulo de rotação





Controlabilidade de joelho

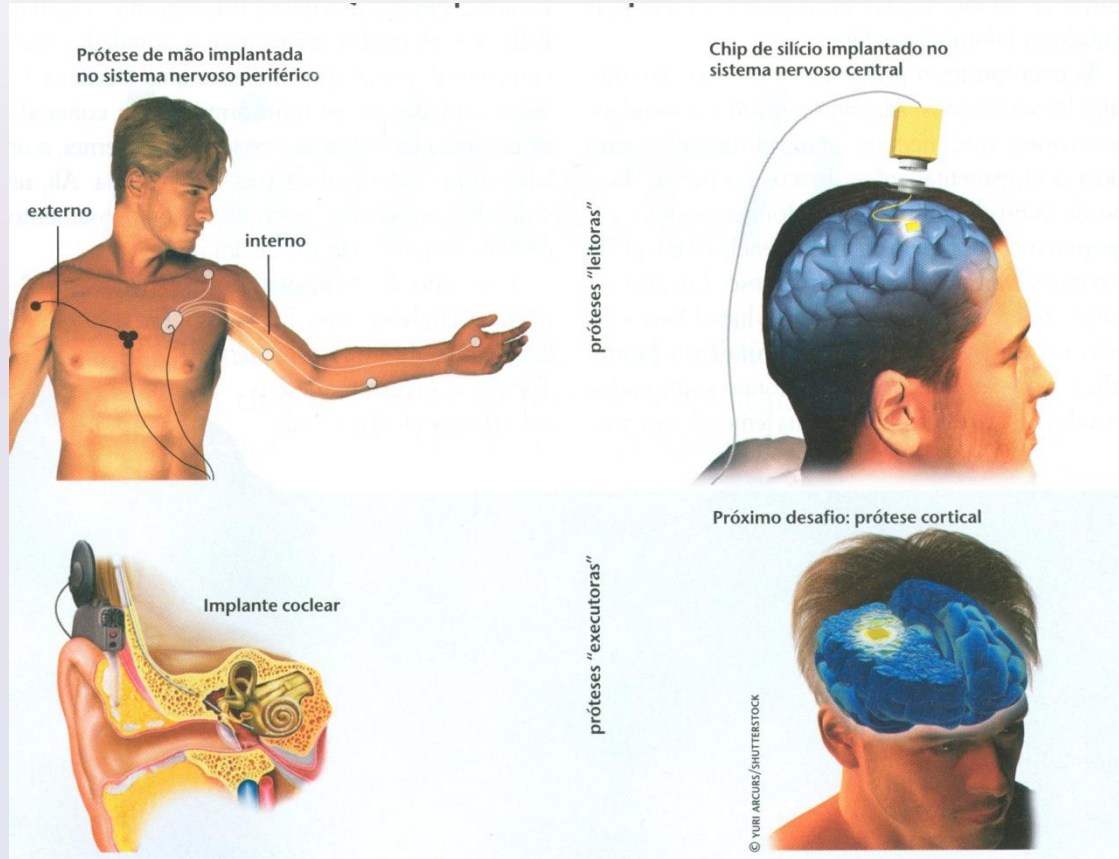
- Mecanismos de amortecimento:
 - C-leg (Otto Bock)
 - Ossur
- Molas:
 - 3R21 (Otto Bock)
 - GAIT (Ossur). Comutação de molas:
 - Mola baixa rigidez: oscilação
 - Mola alta rigidez: suporte





Próteses do futuro

- Neuropróteses



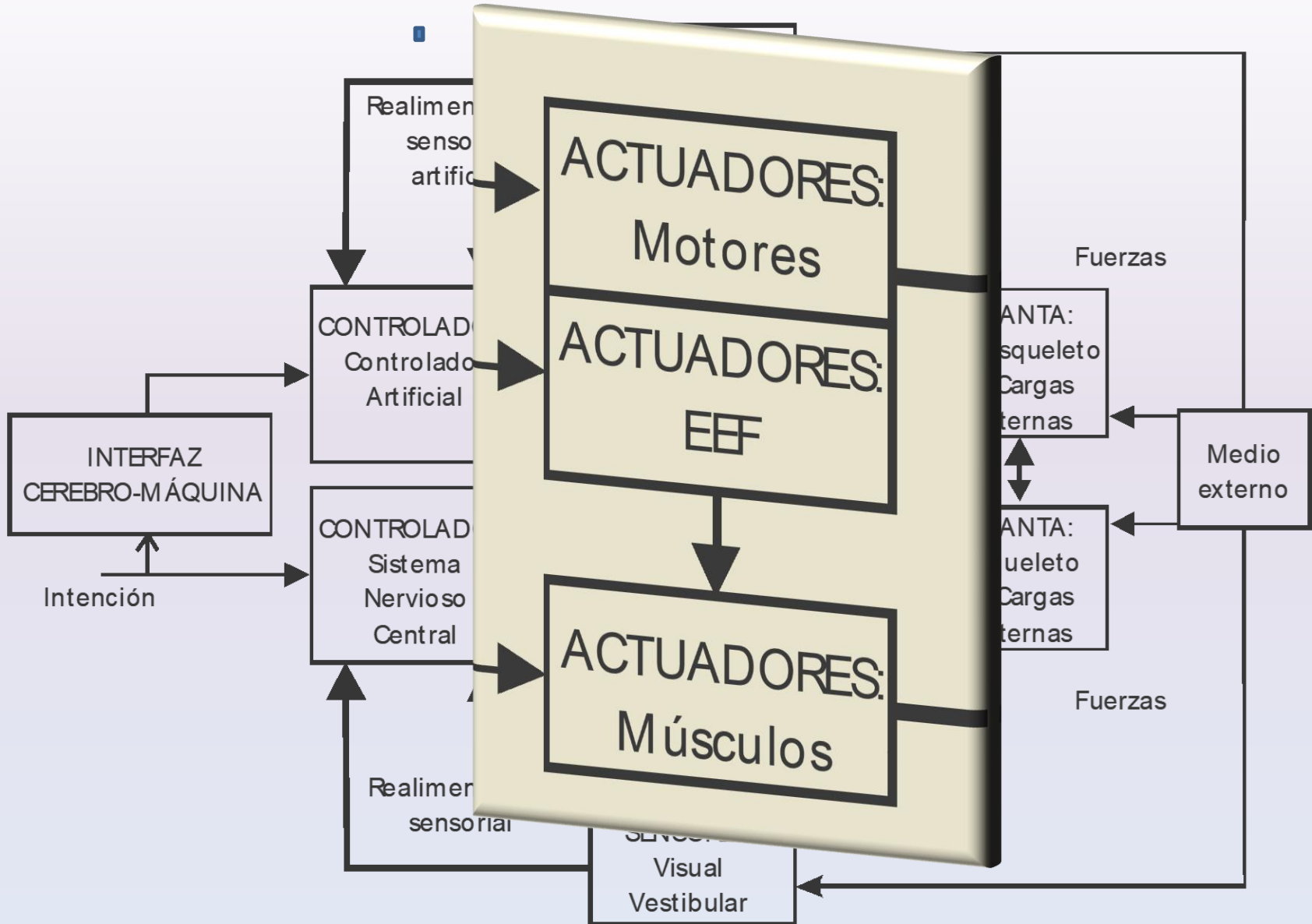


Conteúdo

1. Introdução
2. Sistemas mecânicos artificiais
3. Sistemas de atuação artificiais
 - Atuadores artificiais e intercambio de potência
 - Atuação artificial sobre o musculo
4. Sistemas sensoriais artificiais
5. Sistemas de controle motor artificiais



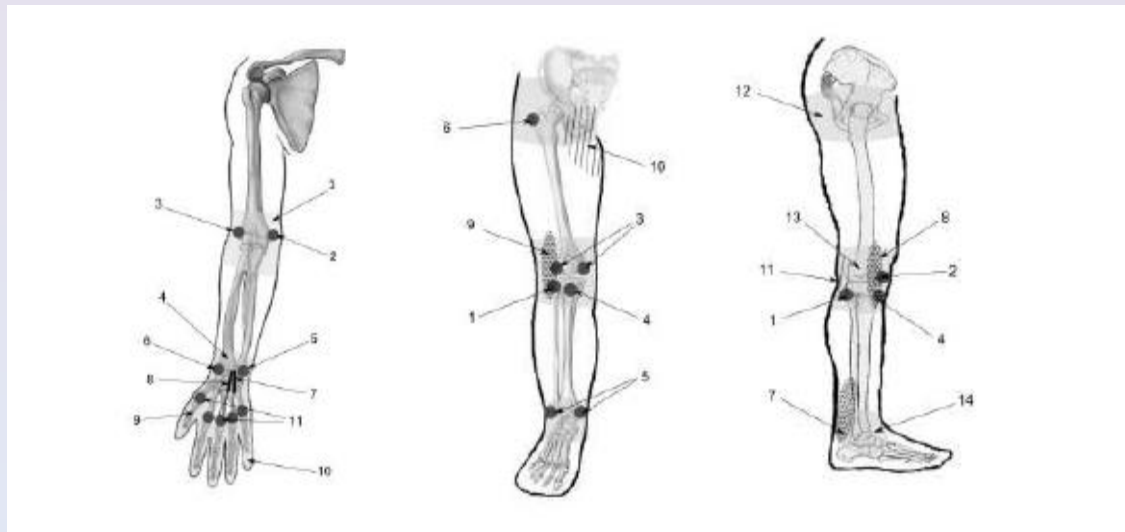
Sistema motor humano-robot





Atuadores

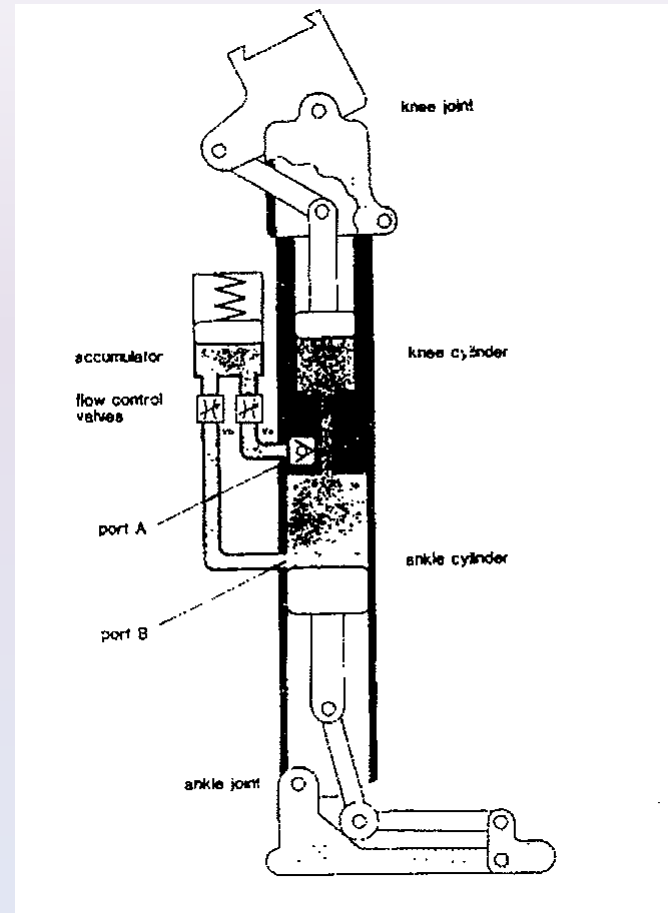
- Interação física humano-atuador artificial
 - Projeto atuador:
 - Intercambio de potencia
 - Dinâmica do atuador
- Aplicação de cargas





Atuadores artificiais

- Molas e amortecedores
- Motores elétricos
- Atuadores hidráulicos
- Atuadores pneumáticos



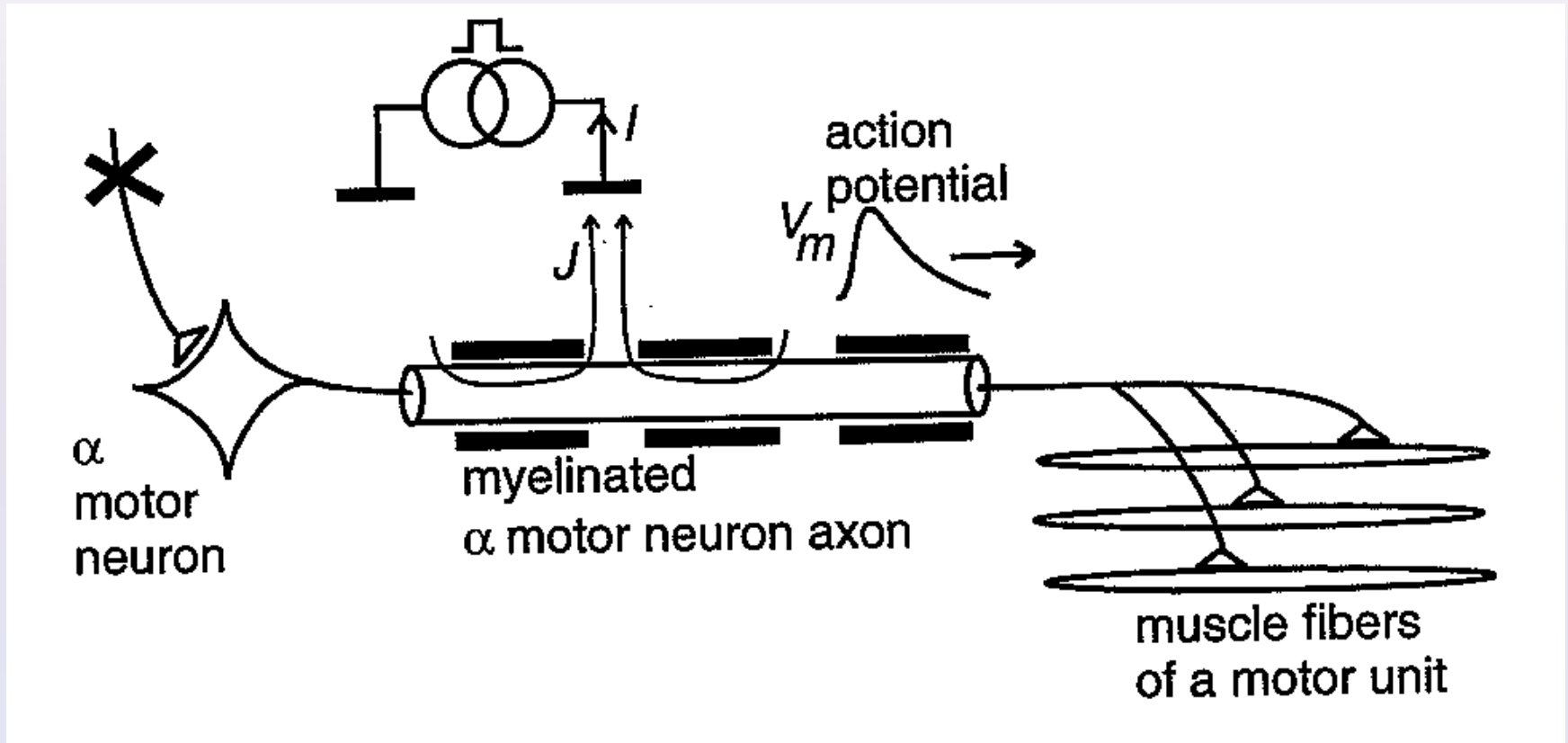


Atuação artificial sobre o musculo

- Excitação elétrica do musculo:
 - Intracelular (experimental)
 - Extracelular:
 - Elétrica
 - Magnética
 - Estimulação do sistema nervoso:
 - Cortical
 - Espinhal
 - Sistema Nervoso Periférico

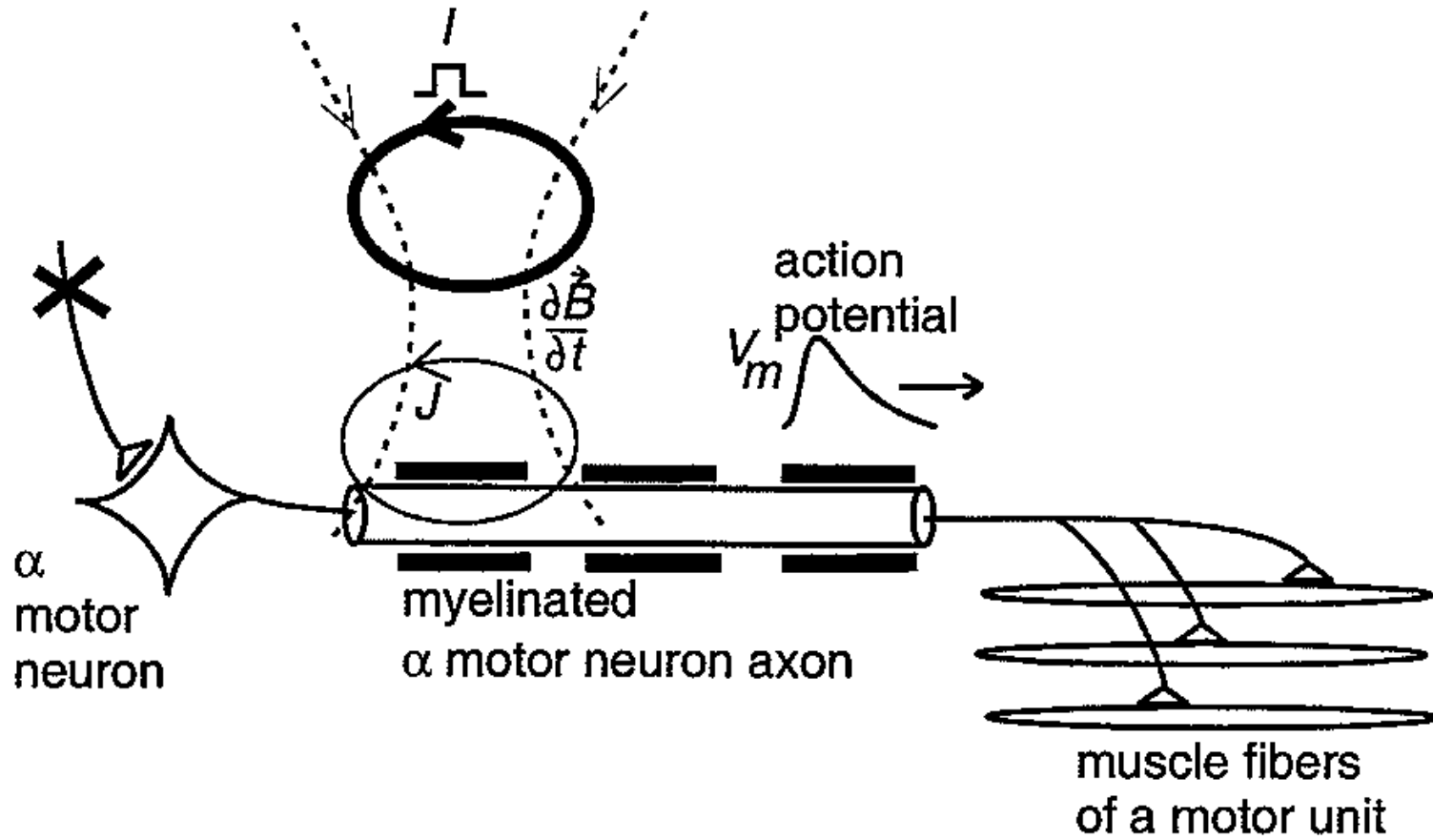


Estimulação elétrica do musculo



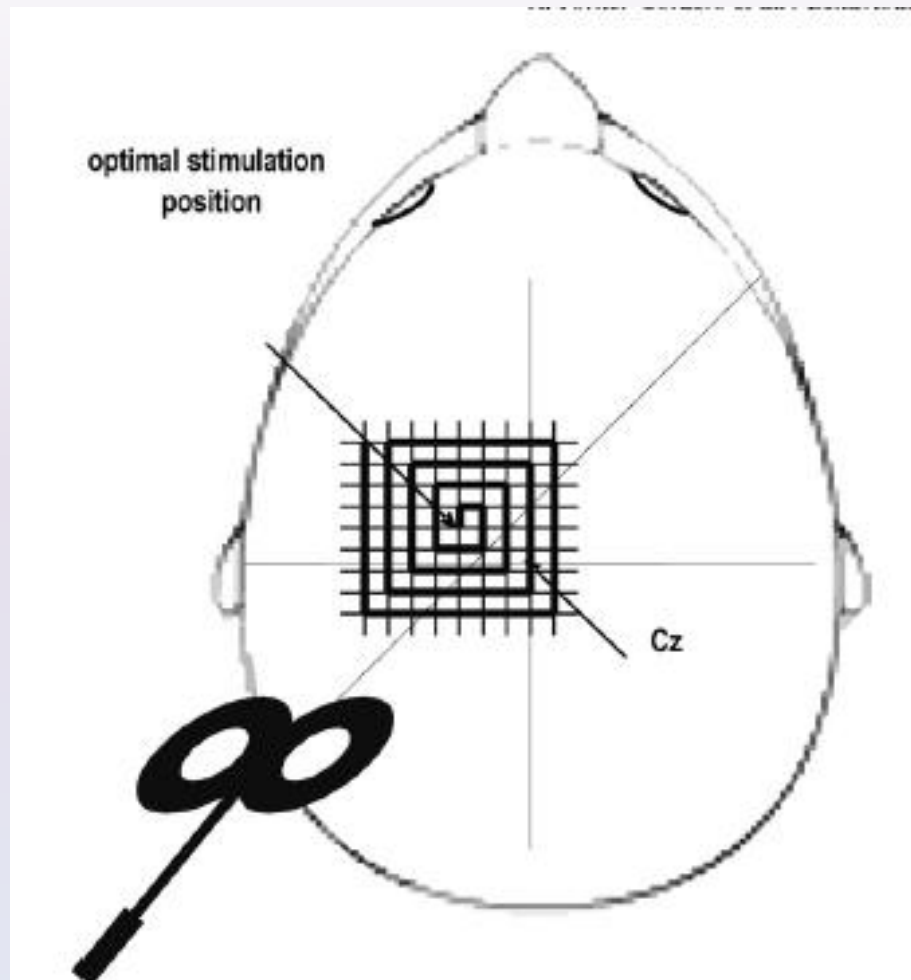


Estimulação magnética do musculo





Estimulação magnética do SN

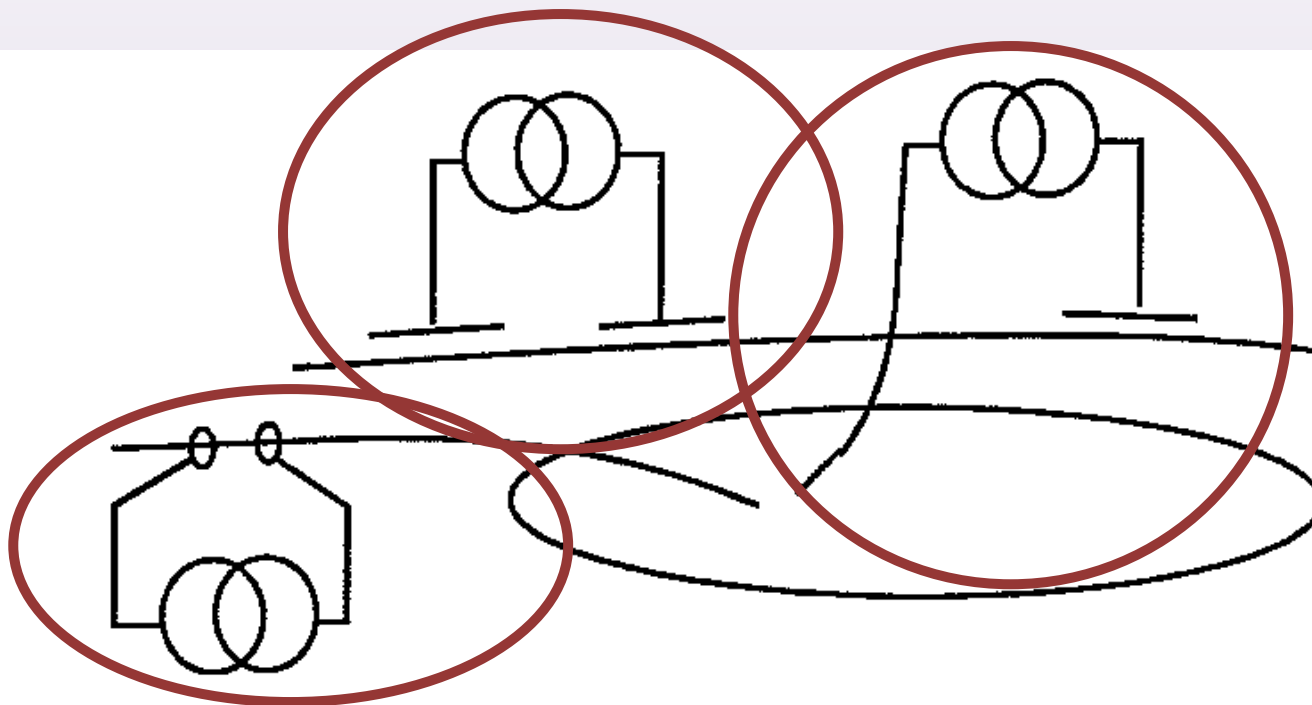




Estimulação elétrica

Transcutanea

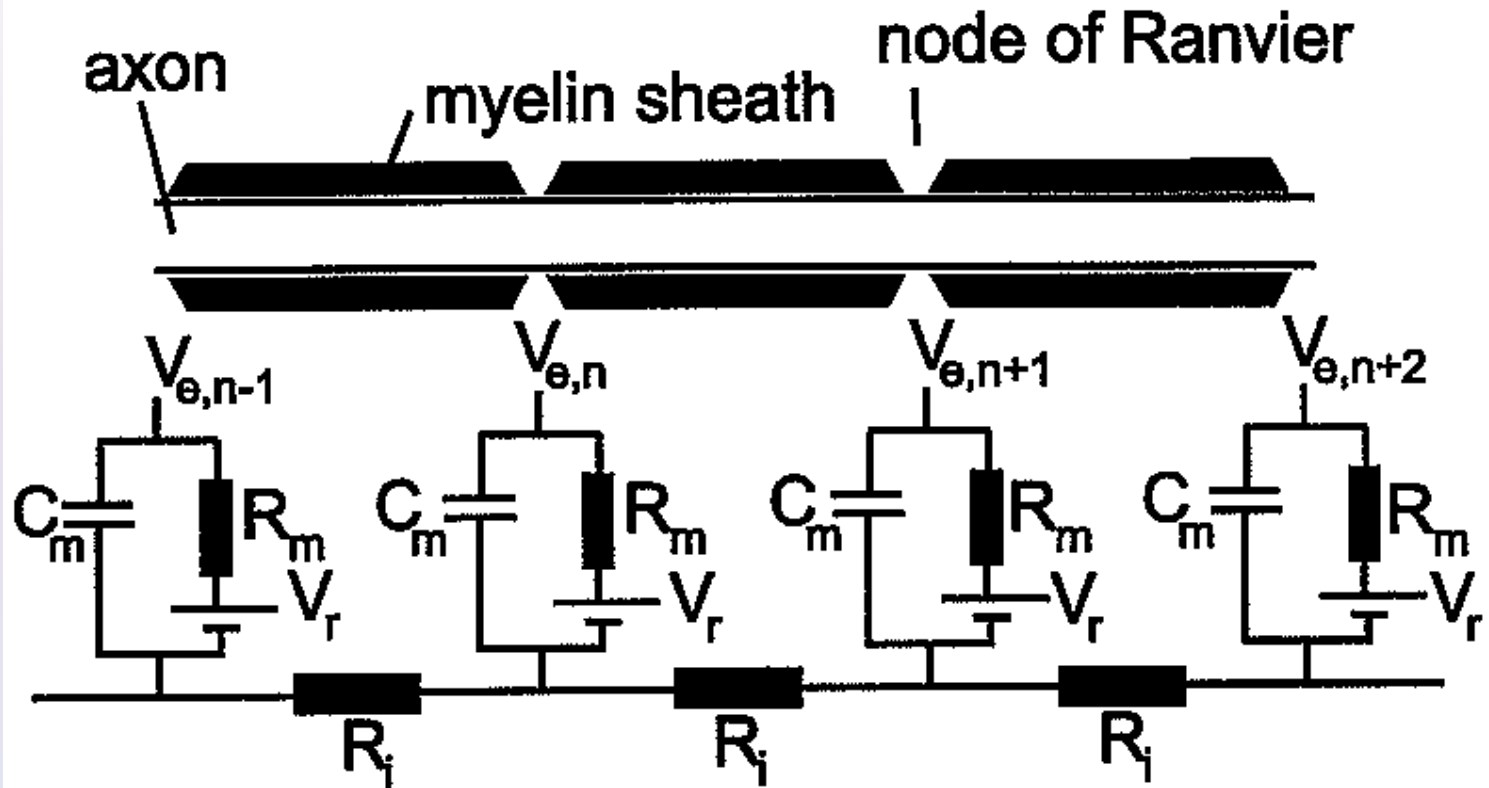
Percutanea



Subcutanea

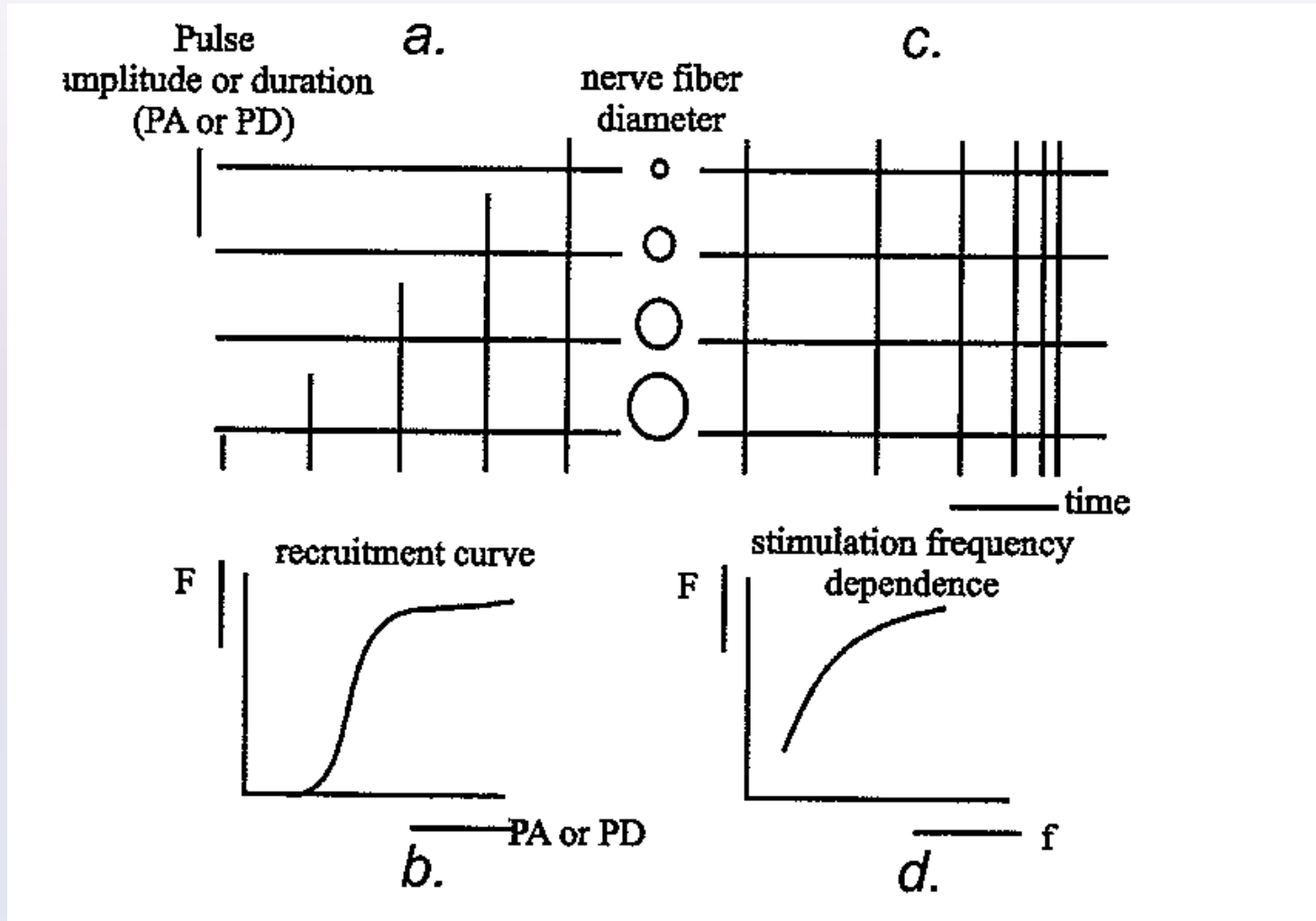


Estimulação elétrica





Reclutamento espacial e temporal





Ativação fisiológica e artificial

- Fisiológica
 - Assíncrona
 - Rotação
 - Evita fadiga
 - Ordem de recrutamento:
 - Princípio de Henneman
 - De menor a maior
- Artificial
 - Síncrona
 - Ordem de recrutamento
 - Não fisiológico
 - De maior a menor
 - Menor limiar de estimulação

Intentos para melhorar a estimulação:

- Ativação sequencial com múltiplos eletrodos
- Restauração da ordem de recrutamento
 - Bloqueio anodal das fibras maiores
 - Eletrodos de membrana não linear
 - Estimulação de alta frequência



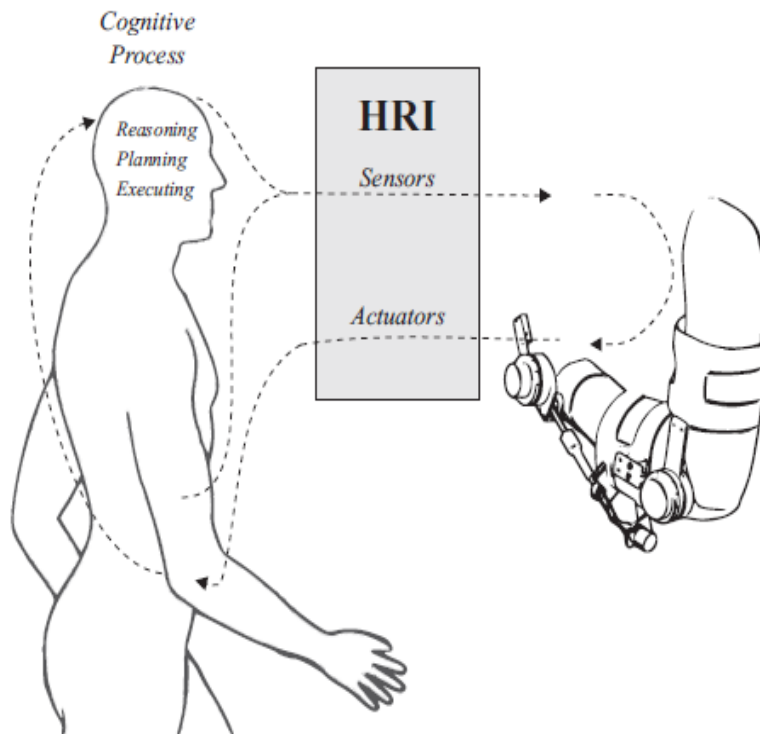
Conteúdo

1. Introdução
2. Sistemas mecânicos artificiais
3. Sistemas de atuação artificiais
4. Sistemas sensoriais artificiais
 - Mecanismos de registro da informação
 - Uso da informação sensorial
 - Intenção motora
5. Sistemas de controle motor artificiais



Necesidade dos sensores

- Detectar a intenção do usuário

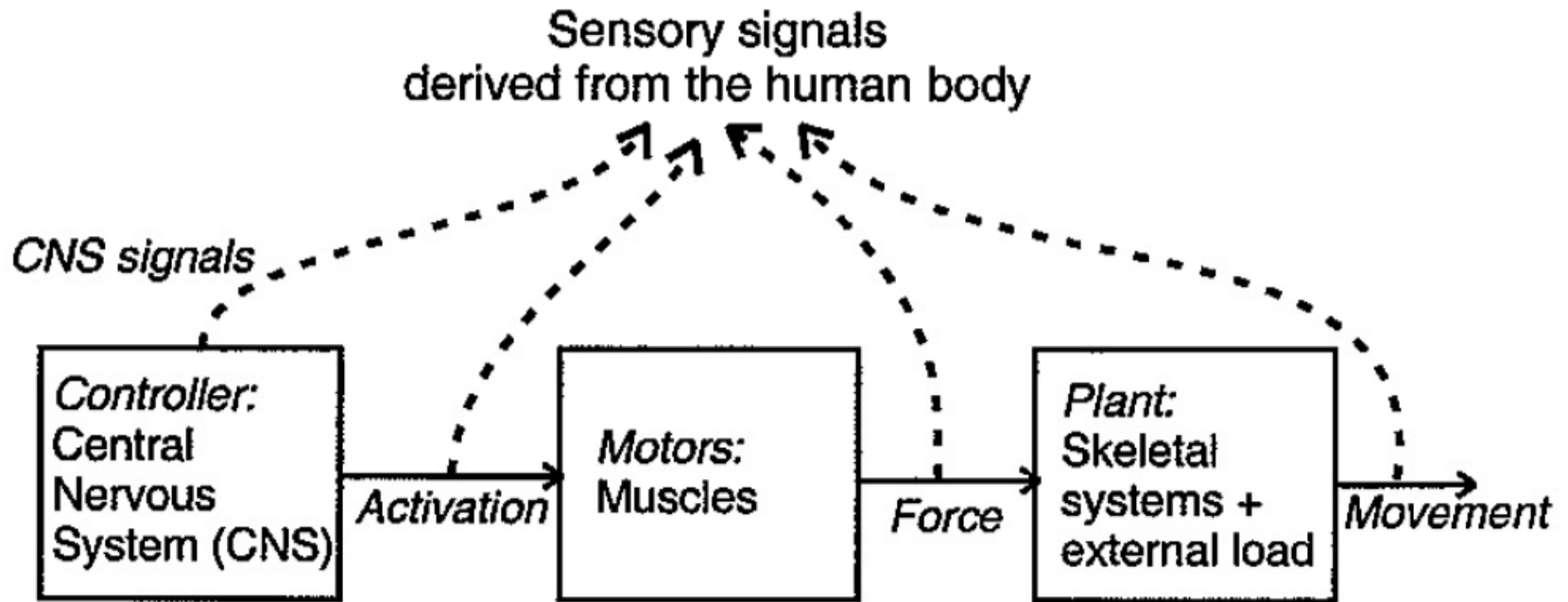


- Avaliar a situação física do corpo e caracterizar a interação com o entorno:

- Realimentação ao usuário
- Realimentação ao sistema de controle artificial



Informação sensorial





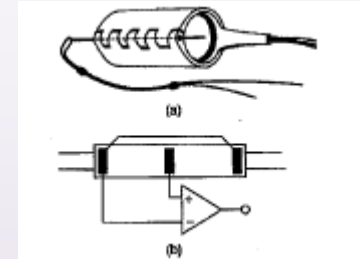
<i>Sensor</i>	<i>Physical quantity</i>	<i>Transduction principles</i>	<i>Interaction with the body</i>
CNS signals / muscle activation			
<i>EEG / MEG</i>	<i>Brain signals</i>	<i>Electric / Magnetic</i>	<i>Electrodes / coils</i>
<i>ENG / MNG</i>	<i>Signals from nerves</i>	<i>Electric / Magnetic</i>	<i>Electrodes / coils</i>
<i>EMG / MMG</i>	<i>Muscle activation</i>	<i>Electric / Magnetic</i>	<i>Electrodes / coils</i>
Force			
<i>Strain gauges</i>	<i>Strain of material → measure for Force / moment</i>	<i>Resistive/ piezoresistive</i>	<i>Attachment on prosthetic / orthotic elements</i>
<i>Pressure sensors</i>	<i>Pressure</i>	- <i>Force Sensitive resistors (FSR)</i> - <i>Force Sensitive Capacity</i>	<i>Attach between segment and environment on contact surface</i>
<i>Physiological Skin sensors</i>	<i>Skin stress (phasic rather than static components)</i>	<i>Physiological sensors</i>	<i>Derive via electrodes around sensory nerves (Heffer et al. 1996; Sinjaer 1999)</i>
Movement			
<i>Goniometer</i>	<i>Joint angle (1, 2 or 3D)</i>	- <i>Resistive</i> - <i>Hall effect + magnet (Johnson et al. 1999)</i>	<i>Attach to two segments connected by joint</i>
<i>Orientation sensor</i>	<i>Orientation with respect to earth coordinate system</i>	- <i>Hall effect (earth magnetic field)</i> - <i>inertial: gravity acceleration</i>	<i>Attach sensor to body segment</i>
<i>Rate of turn Gyroscope</i>	<i>Angular velocity (1 – 3D)</i>	- <i>inertial, coriolis / piezoresistive (Soderkvist 1994)</i>	<i>Attach to body segment (Baten et al. 1996)</i>
<i>Accelerometer</i>	<i>Acceleration (inertial + gravitational: 1 – 3D)</i>	<i>Inertial / piezoresistive, piezoelectric or capacitive [Lotters, 1995 #215]</i>	<i>Attach to body segment</i>
<i>Position sensor</i>	- <i>relative distance to objects in environment</i> - <i>absolute position in space</i>	- <i>radar using ultrasonic transmitters/sensors (Piezo electric)</i> - <i>GPS: Global Positioning System using satellite communication</i>	- <i>ultrasonic transmitters / sensors mounted on body (Shoval et al. 1998)</i> - <i>GPS system mounted on body</i>

Crago et al,
1988
Veltink et al,
1996



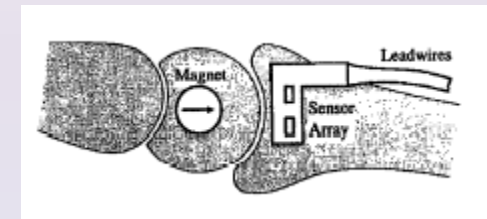
Obtenção de sinais sensoriais

- Sistema sensorial fisiológico



- Sistemas sensoriais artificiais

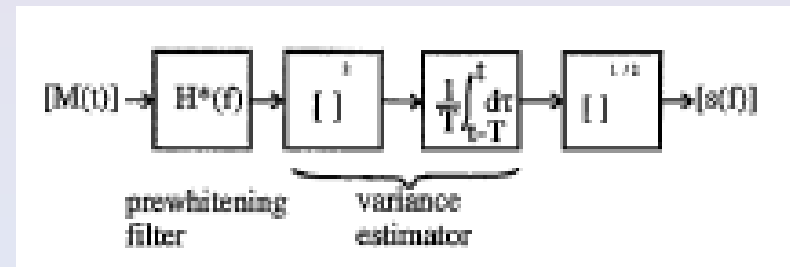
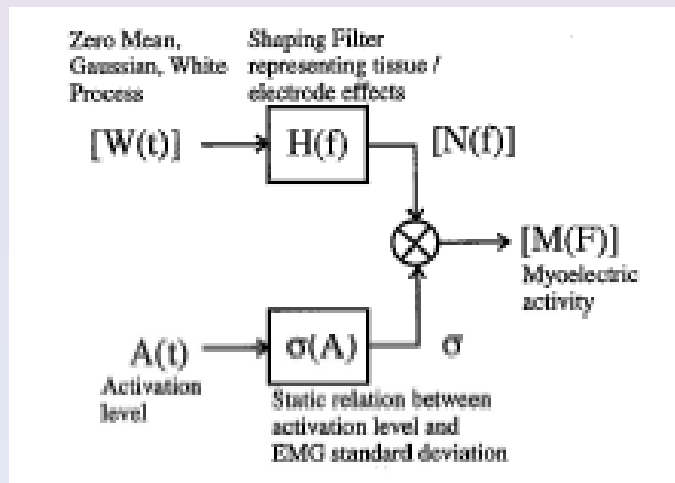
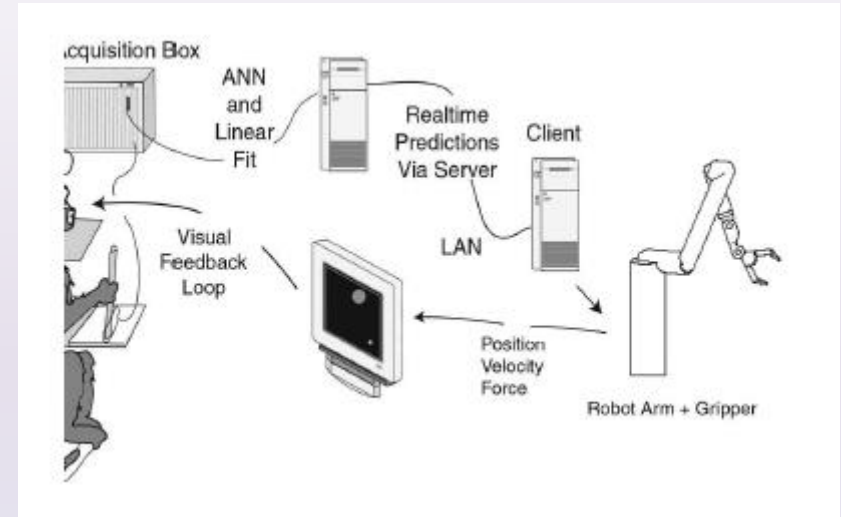
- Sensor hall implantado
- Acelerómetros
- Giroscopios





Deteção da intenção

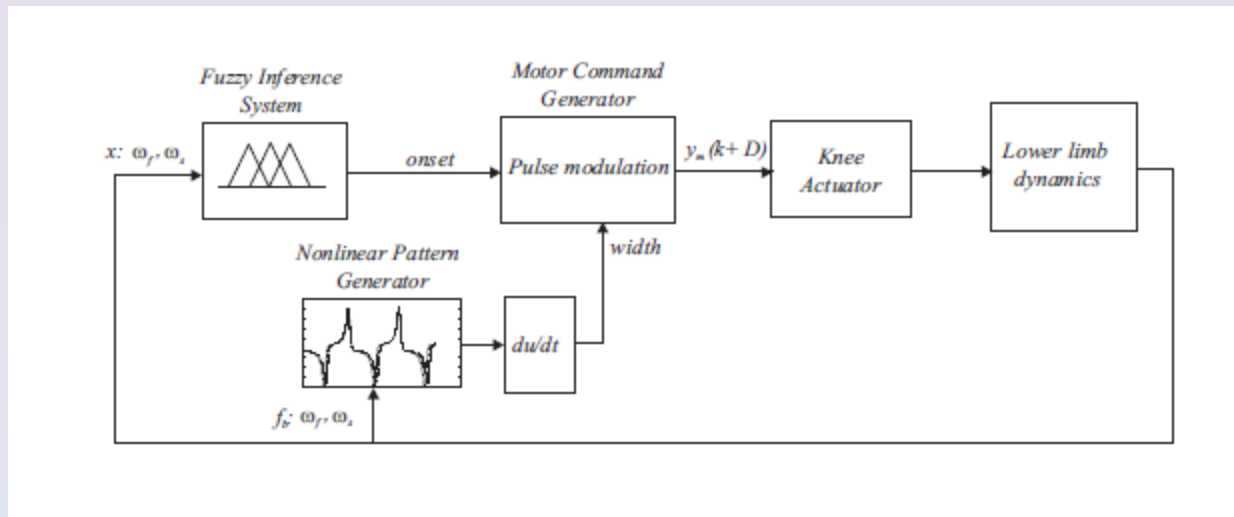
- Informação do Sistema Nervoso:
 - EEG, MEG
 - EMG, MMG





Deteção da intenção

- Informação de movimentos e forças:
 - Movimento residual
 - Forças de interação como o dispositivo





Conteúdo

1. Introdução
2. Sistemas mecânicos artificiais
3. Sistemas de atuação artificiais
4. Sistemas sensoriais artificiais
5. Sistemas de controle motor artificiais
 - O Controlador humano
 - Controle artificial da função motora
 - Treinamento e reabilitação. Neuromodulação



Controle Motor Artificial

- Atuação:
 - Paralelo
 - Serie
- Objetivos:
 - Controle em tempo real
 - Treinamento-Reabilitação
 - Ajuste do sistema de controle motor fisiológico:
Neuromodulação

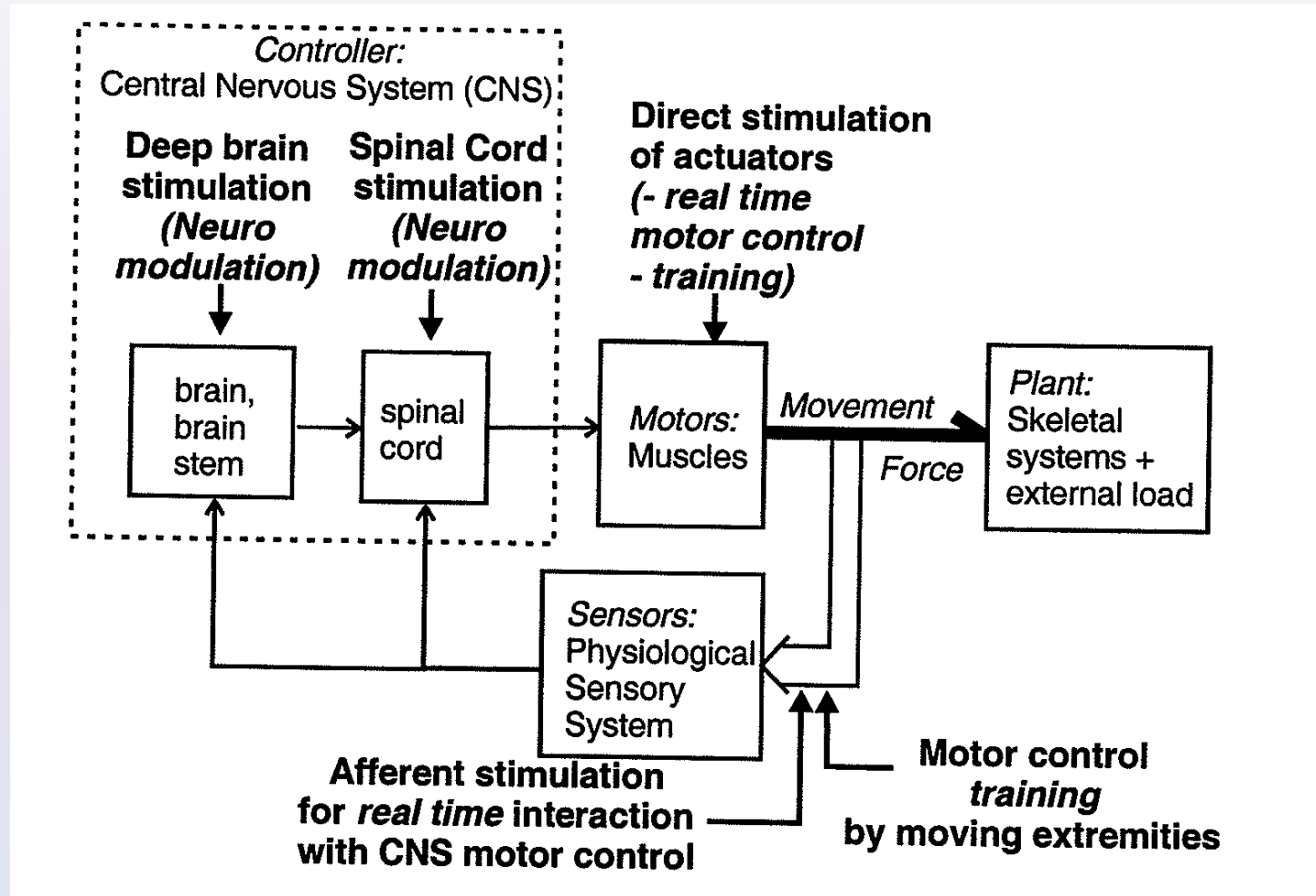


Controle Motor Artificial

- Sistemas envolvidos:
 - Sistema fisiológico:
 - Pre-alimentado (Modelo interno)
 - Realimentado (Reflexos, Teoría $-\lambda$)
 - Sistema artificial
- Interações:
 - Controle em tempo real da função motora
 - Treinamento do Sistema Nervoso por estímulos externos
 - Neuromodulação

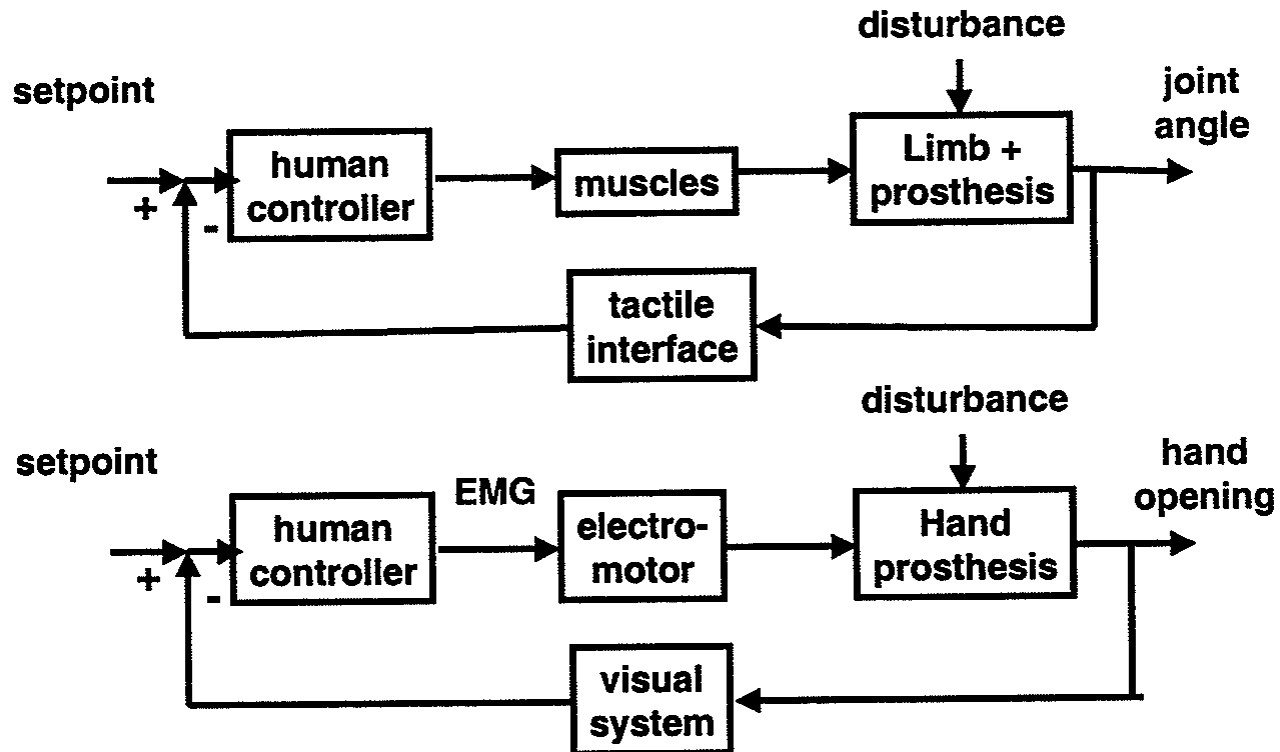


Interações dos sistemas de controle





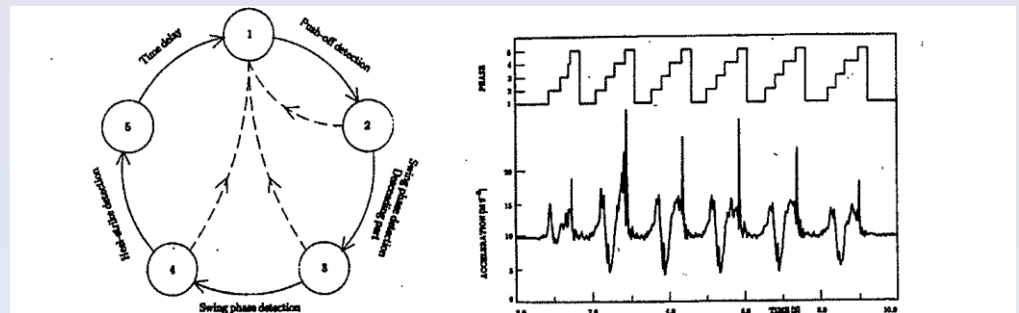
O controlador humano





O controlador humano

- Humanos buscam comportamento servo ótimo do sistema combinado.
 - (McRuer & Jenkins, 1967)
 - Bom comportamento para baixas frequencias
- Controle de tarefas rápidas: prealimentado
 - Estrutura hierarquica: CPG
 - Máquina de estados finitos





Controle artificial da função motora

- Controle contínuo:
 - Movimentos relativamente lentos
 - Agarre: Controle artificial da rigidez
- Controle de movimentos rápidos:
 - Controle direto de atuadores artificiais
 - Disparo dos mecanismos de geração de padrões funcionais do Sistema Nervoso, p.e. CPG.
 - Aplicação de entradas aferentes para modular os sistema fisiológico de controle motor.



Reabilitação e neuromodulação

- Treinamento e reabilitação:
 - Exoesqueletos da marcha
 - Exoesqueletos do braço
 - Estimulação elétrica funcional
- Neuromodulação:
 - Deep brain stimulation (parkinson)
 - Estimulação Transcranial Magnética