



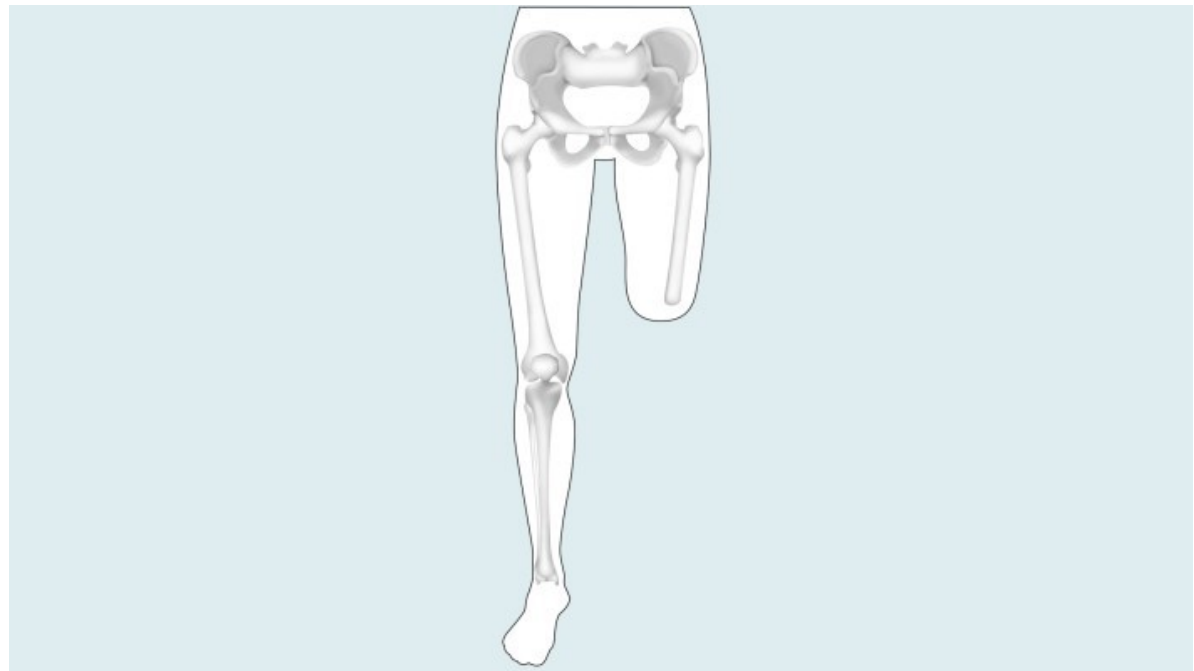
CONTROLE DE PRÓTESES TRANSFEMUR ATIVAS COMFUZZY CEREBELLAR MODE ARTICULATION CONTROLLER

Aluno: Roberto Aguiar Lima
Orientadora: Lourdes Mattos Brasil
Coorientadora: Vera Regina Maraes



Introdução

- Busca por qualidade de vida;
- Reabilitação humana;
- Próteses;
- Próteses transfemurais;





Introdução

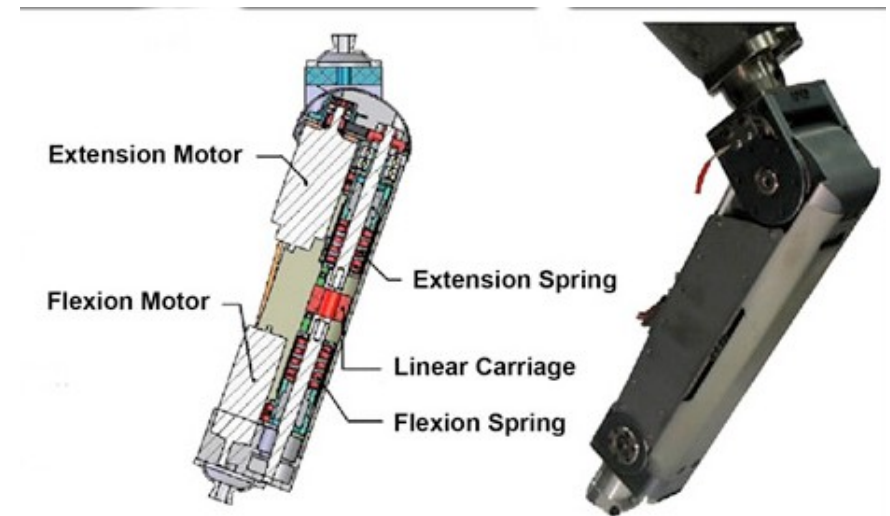
- Próteses Transfemurais passivas;
 - Atuadores intrinsecamente passivos;
 - Consumo metabólico extra.





Introdução

- Próteses Transfemurais Ativas
 - Resolve problemas das próteses passivas;
 - Injetam energia para movimentar o joelho;
 - Modelo biomecânico;
 - Método de controle;
 - Engenharia de controle;
 - Sistemas de controle fuzzy;
 - Redes Neurais Artificiais;
 - Etc...



VILLALPANDO *et. al*, 2009



Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver um controlador para uma prótese transfemural ativa baseada em sistemas fuzzy na RNA CMAC.



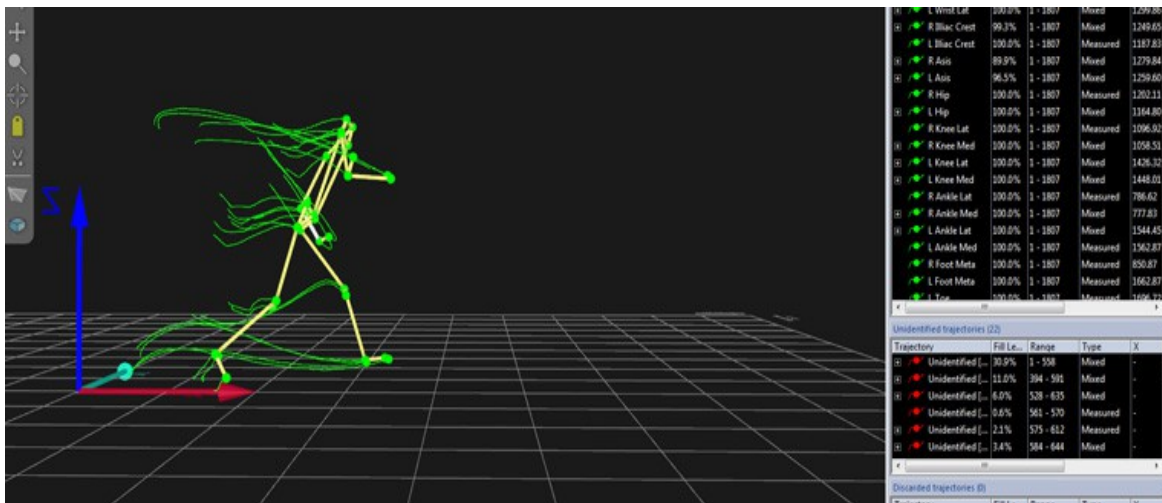
Objetivos Específicos

- Definir os sinais de entrada para o controlador;
- Definir os sinais de saídas do controlador;
- Definir uma arquitetura de RNA adequada ao CMAC, a ser utilizada para controle de próteses transfemorais ativas;
- Simular um controlador CMAC com vistas ao ciclo confortável de marcha;
- Selecionar os comportamentos de exceção do ciclo de marcha confortável;
- Modelar variações do ciclo de marcha através de vários sistemas fuzzy;
- Criar simulações virtuais do controlador, baseados em dados reais, nos diferentes ciclos de marchas selecionados;
- Validar as simulações.

Coleta dos Dados

Laboratório de Movimento UnB Ceilândia

Qualisys track manager

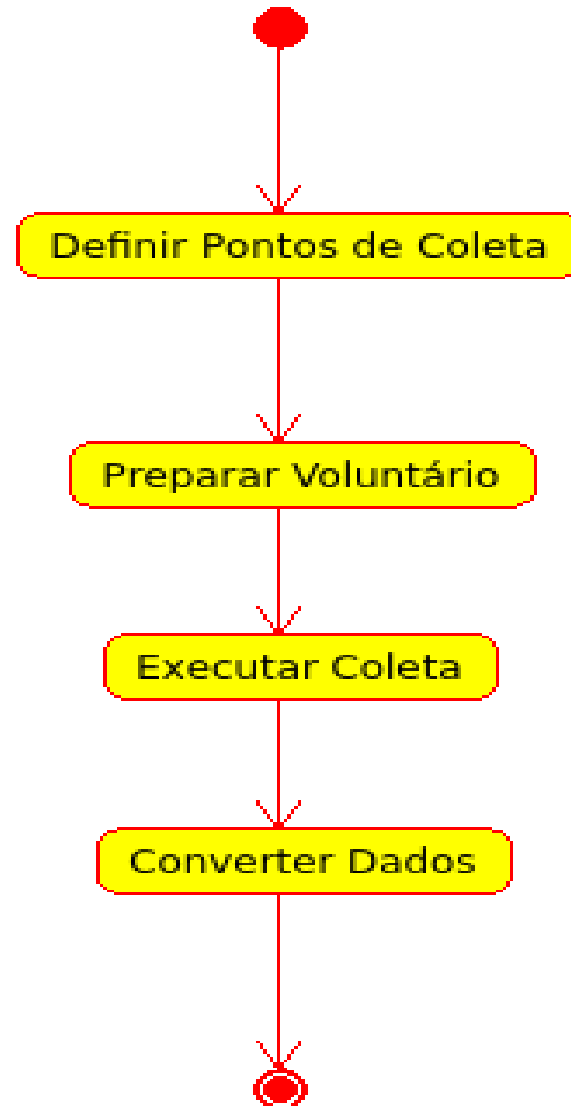


Oqus MRI





Processo de Coleta de Dados





Processo de Coleta de Dados

- Definir Pontos de Coleta
 - Exemplos de pontos:
 - Cabeça do primeiro metatarso da perna direita;
 - Calcâneo da perna direita;
 - Maléolo lateral direito;
 - Maléolo lateral esquerdo;
 - *Etc...*



Processo de Coleta de Dados

- *Preparar Voluntário.*





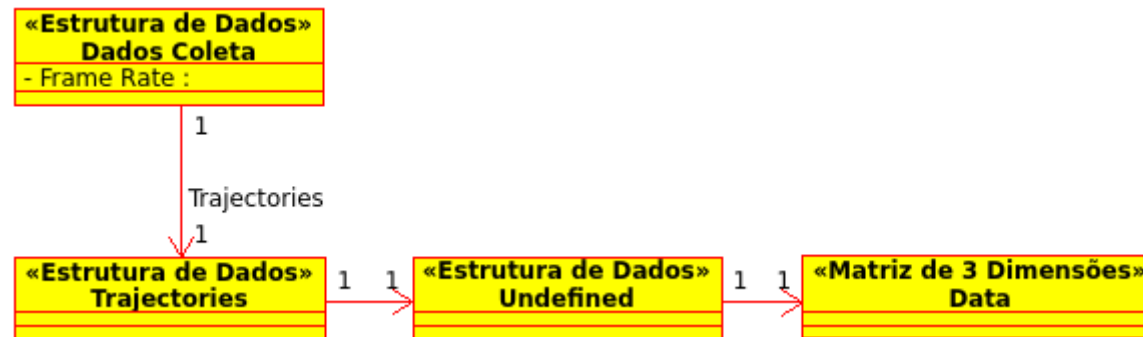
Processo de Coleta de Dados

- *Executar Coleta.*
 - *Para este trabalho a coleta foi executada da seguinte forma:*
 - *O voluntário deve repetir um ciclo de marcha confortável de aproximadamente 5 segundos, por 5 vezes na frente das câmeras.*



Processo de Coleta de Dados

- *Converter Dados.*
 - *Usar o QTM para converter os dados coletados para formato do MATLAB.*



Formato dos dados devolvido pelo QTM



Processo de Coleta de Dados

- *Converter Dados.*
 - *Matriz de 3 dimensões devolvida pelo QTM.*
 - *Primeira dimensão: 74 canais que representam os marcadores presos no voluntário;*
 - *Segunda dimensão: são as posições num plano cartesiano (X, Y, Z) mais o erro;*
 - *Terceira dimensão: são cada um dos frames coletados numa coleta específica.*

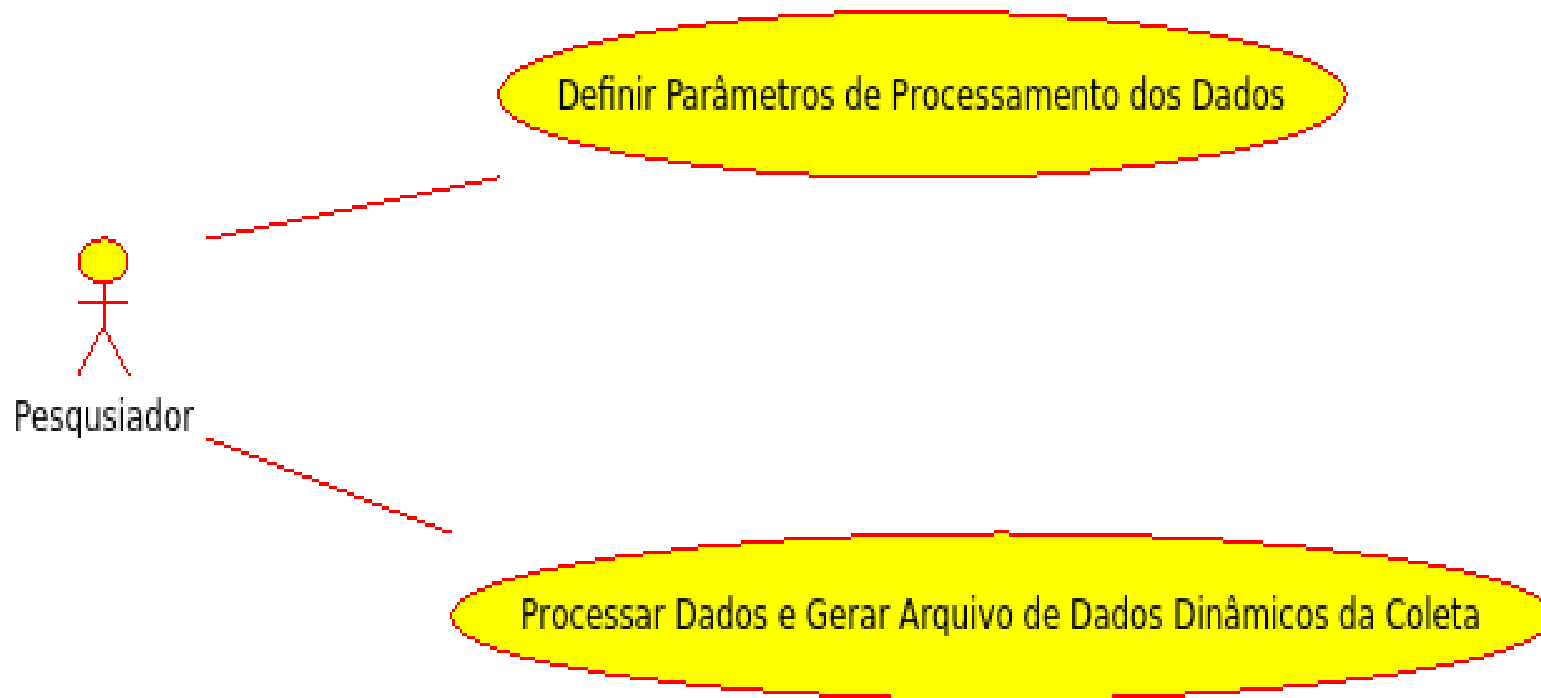


Processo de Coleta de Dados

- *Converter Dados.*
 - *Cada um dos canais deve ser identificado conforme o marcador que representa;*
 - *Exemplo:*
 - *Canal 1 = Maléolo lateral direito;*
 - *Canal 2 = Calcâneo;*
 - *Canal 3 = Não usado;*
 - *Canal ...*



Extração e Transformação dos Dados





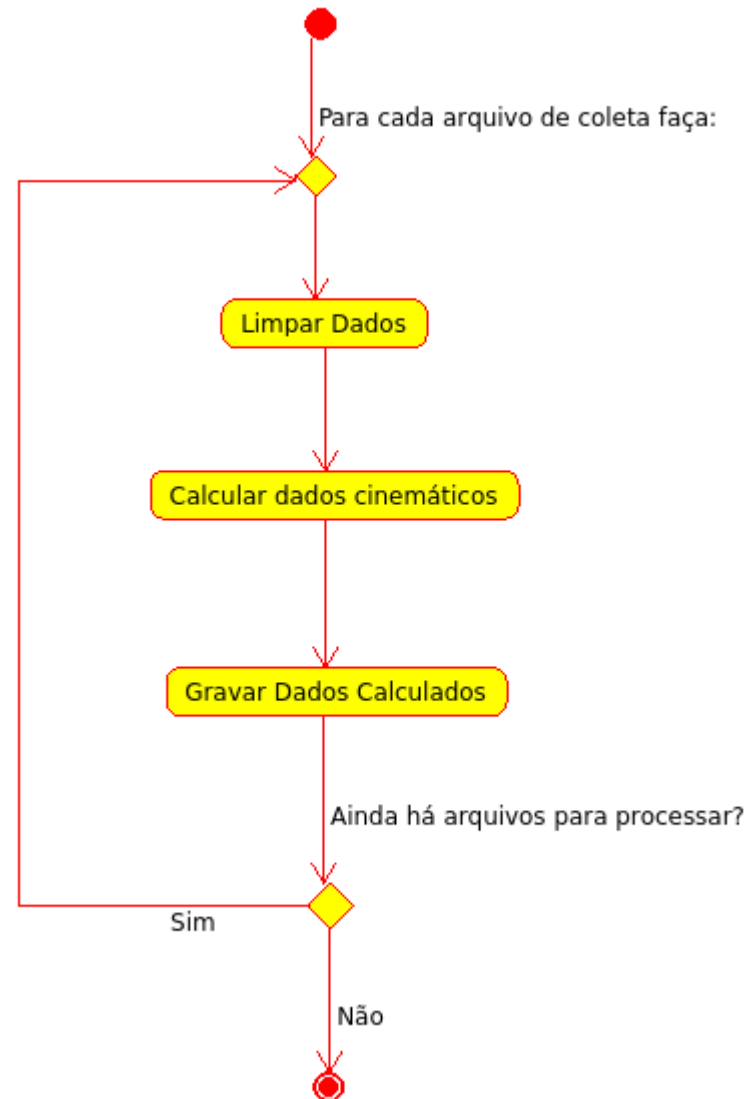
Parâmetros para configuração

«Estrutura de Dados»

Configuração do Processamento

- Joelho Direito :
- Trocânter Direito :
- Tíbia Direita :
- Joelho Esquerdo :
- Trocânter Esquerdo :
- Tíbia Esquerda :
- Início Corte :
- Fim Corte :
- Nome do Arquivo de Coleta :

Processar Dados e Gerar Dados Dinâmicos da Coleta





Cálculos das Velocidades Instantâneas

$$\vec{v} = (\vec{a} - \vec{b}) / t$$



Cálculos dos Ângulos

- Ângulos dos Joelhos:

$$\theta = \cos^{-1}(\vec{u} \cdot \vec{v} / \|\vec{u}\| \cdot \|\vec{v}\|)$$

- Translação para que ponto do joelho seja a origem

$$\vec{u} = \vec{t} - \vec{j}$$

$$0 = \vec{j} - \vec{j}$$

$$\vec{x} = \vec{b} - \vec{j}$$



Cálculo das Velocidades Angulares

$$\omega = (\theta_1 - \theta_2) / t$$



Dados Processados

«Estrutura de Dados» Dados Cinemáticos

Velocidade Angular do Joelho Esquerdo
Velocidade Angular do Joelho Direito
Ângulo do Joelho Esquerdo
Ângulo do Joelho Direito
Aceleração Angular do Joelho Esquerdo
Aceleração Angular do Joelho Direito
Posição no plano X do Joelho Esquerdo
Posição no plano Y do Joelho Esquerdo
Posição no plano Z do Joelho Esquerdo
Posição no plano X do Joelho Direito
Posição no plano Y do Joelho Direito
Posição no plano Z do Joelho Direito



Processamento e Aprendizado

Laboratório de Informática em Saúde

Mac Pro





Aprendizado de Máquina

“Aprendizado de máquina é a ciência de fazer computadores agir sem serem explicitamente programados”.

Andrew Ng
Stanford University

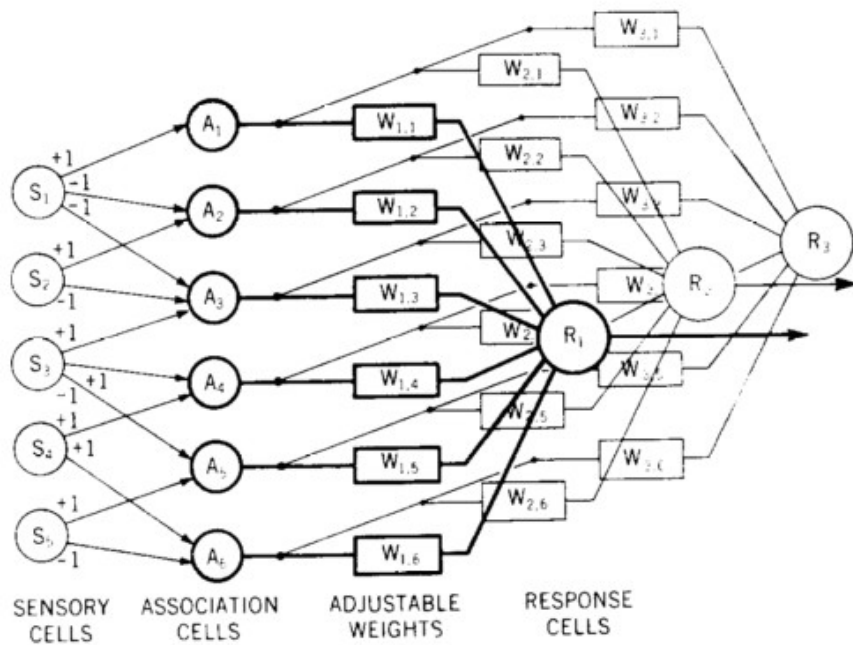


Redes Neurais Artificiais

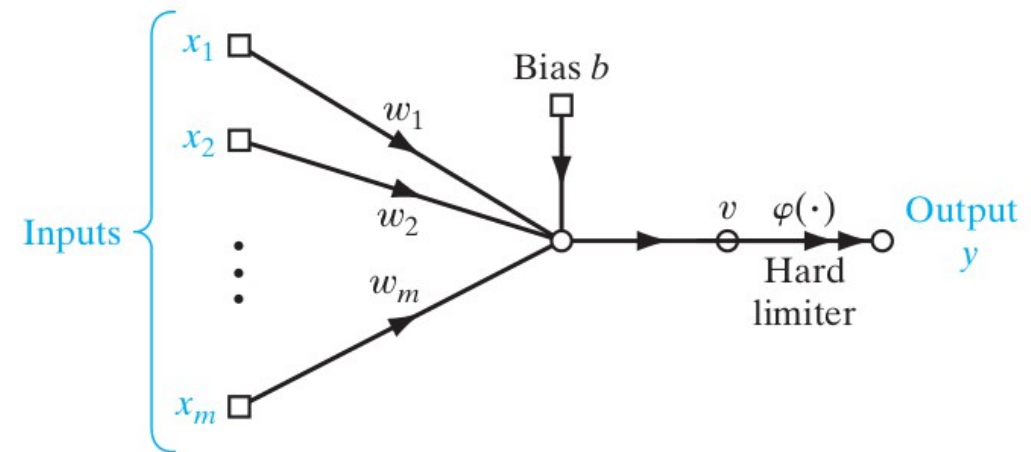
- Estado da arte de aprendizado de máquina;
- Aprendizado supervisionado ou não supervisionado;
- Inspiradas em sistemas nervosos centrais biológicos;
- Existem modelos de RNA's, que apresentam desempenho geral, adequado a resolução de problemas não lineares e com múltiplas variáveis



Perceptron de Rosenblatt



Albus, 1975

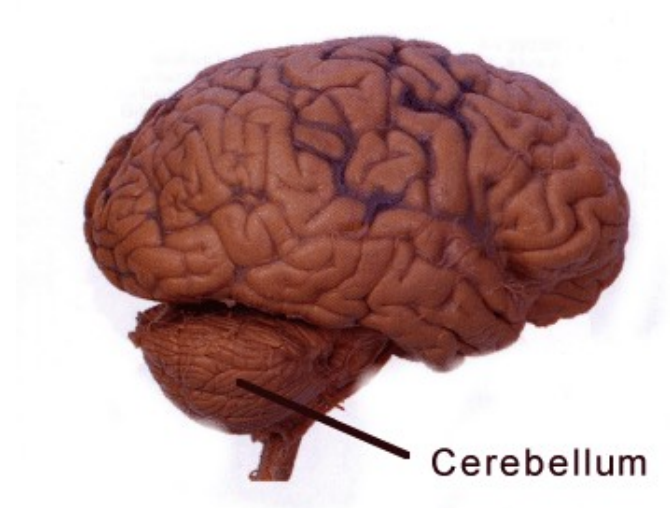


Haykin, 2009



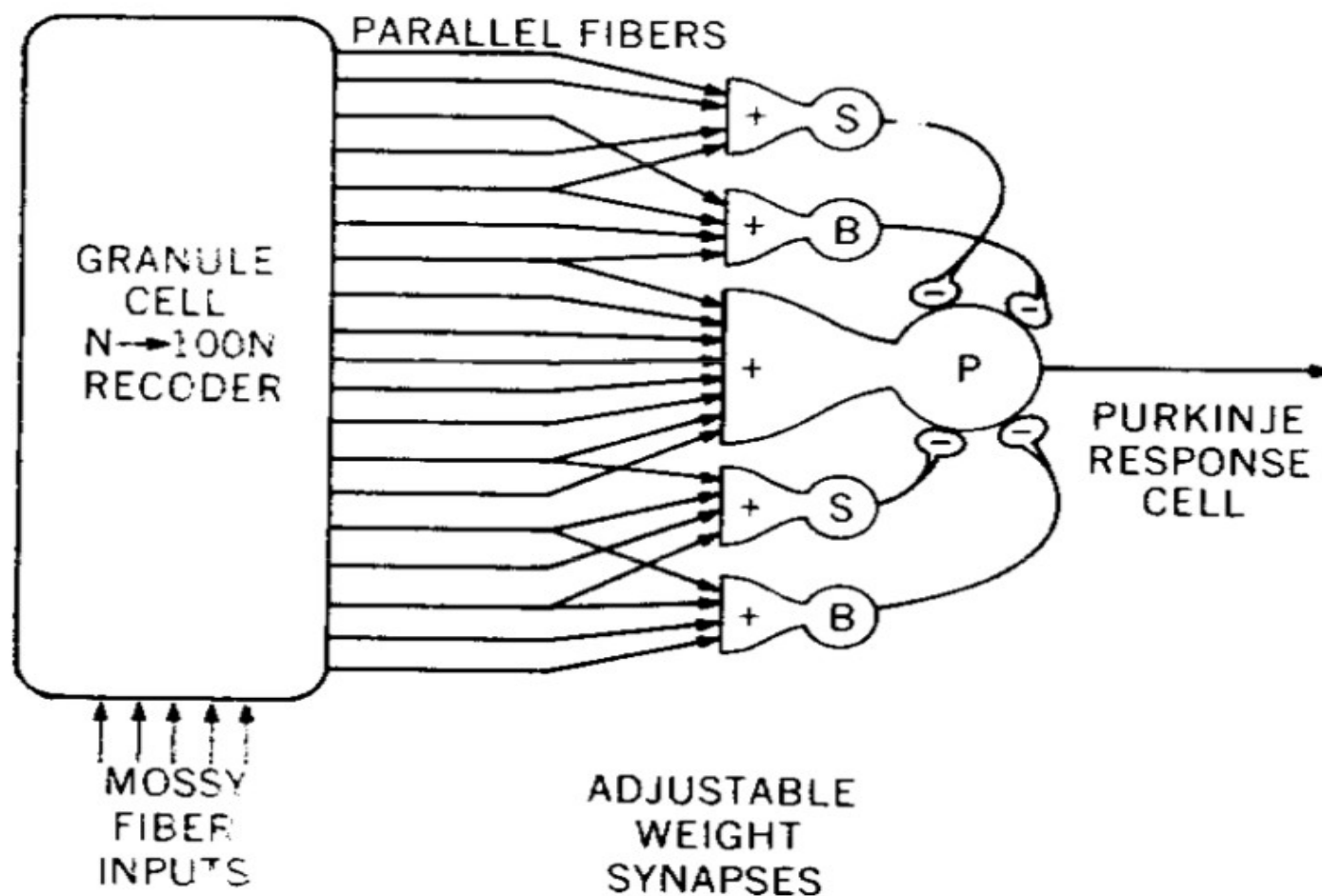
Cerebellar Model Articulation Controller CMAC

- Proposto por J. S. Albus;
- Modela a estrutura e a função do cerebellum.



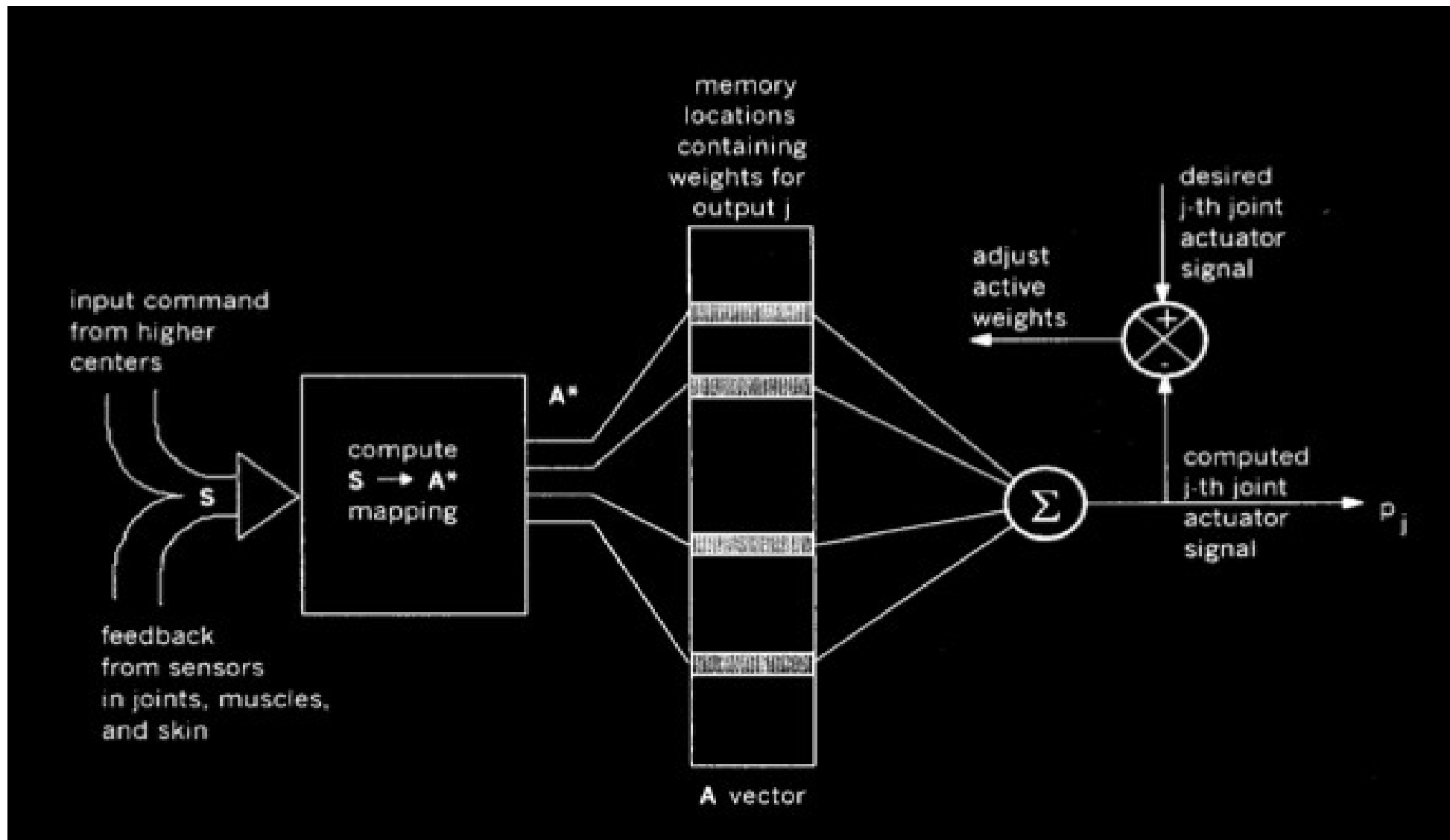


Modelo de Processamento no *Cerebellum*





Controle usando CMAC





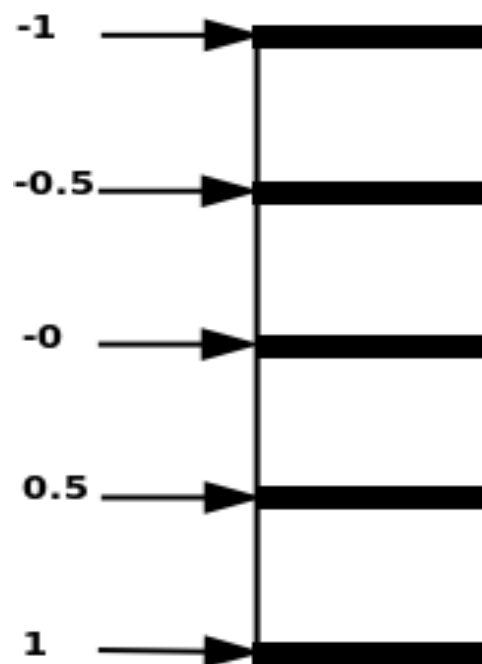
CMAC no Projeto

- Aprendizado supervisionado;
 - Dados biomecânicos oriundos de captação de movimento em 3D;
 - Dados eletromiográficos captados ~~no~~ vivo
- Responsável pelo ciclo de marcha normal da prótese.



Discretização dos Sinais de Entrada

- Discretização para sinais de -1 a 1 no conjunto de números Reais, para cinco valores possíveis;
- A este número de valores possíveis, chamamos resolução dos sinais de entrada da CMAC.





Mapeando os Sinais de entrada da CMAC

- Mapeamento do sinal

Valores de $s1$	Mapeamento $m1$
1	0, 1, 2
2	3, 1, 2
3	3, 4, 2
4	3, 4, 5
5	6, 4, 5
6	6, 7, 5



Mapeando os Sinais de entrada da CMAC

- Mapeamento do sinal

Mapeamento $m2$	
Valores de $s2$	
1	0, 1, 2
2	3, 1, 2
3	3, 4, 2
4	3, 4, 5



Mapeando os Pesos W para 2 sinais de entrada apenas

- Cobinação dos sinais s_1 e s_2

	s_2	1(0, 1, 2)	2 (3, 1, 2)	3 (3, 4, 2)	4 (3, 4, 5)
s_1c					
1 (0, 1, 2)		(0, 0), (1, 1), (2, 2)	(0, 3), (1, 1), (2, 2)	(0, 3), (1, 4), (2, 2)	(0, 3), (1, 4), (2, 5)
2 (3, 1, 2)		(3, 0), (1, 1), (2, 2)	(3, 3), (1, 1), (2, 2)	(3, 3), (1, 4), (2, 2)	(3, 3), (1, 4), (2, 5)
3 (3, 4, 2)		(3, 0), (4, 1), (2, 2)	(3, 3), (4, 1), (2, 2)	(3, 3), (4, 4), (2, 2)	(3, 3), (4, 4), (2, 5)
4 (3, 4, 5)		(3, 0), (4, 1), (5, 2)	(3, 3), (4, 1), (5, 2)	(3, 3), (4, 4), (5, 2)	(3, 3), (4, 4), (5, 5)
5 (6, 4, 5)		(6, 0), (4, 1), (5, 2)	(6, 3), (4, 1), (5, 2)	(6, 3), (4, 4), (5, 2)	(6, 3), (4, 4), (5, 5)
6 (6, 7, 5)		(6, 0), (7, 1), (5, 2)	(6, 3), (7, 1), (5, 2)	(6, 3), (7, 4), (5, 2)	(6, 3), (7, 4), (5, 5)



Mapeando os Pesos W para mais de 2 sinais de entrada

- Cobinação das células da tabela anterior com o s_3 .

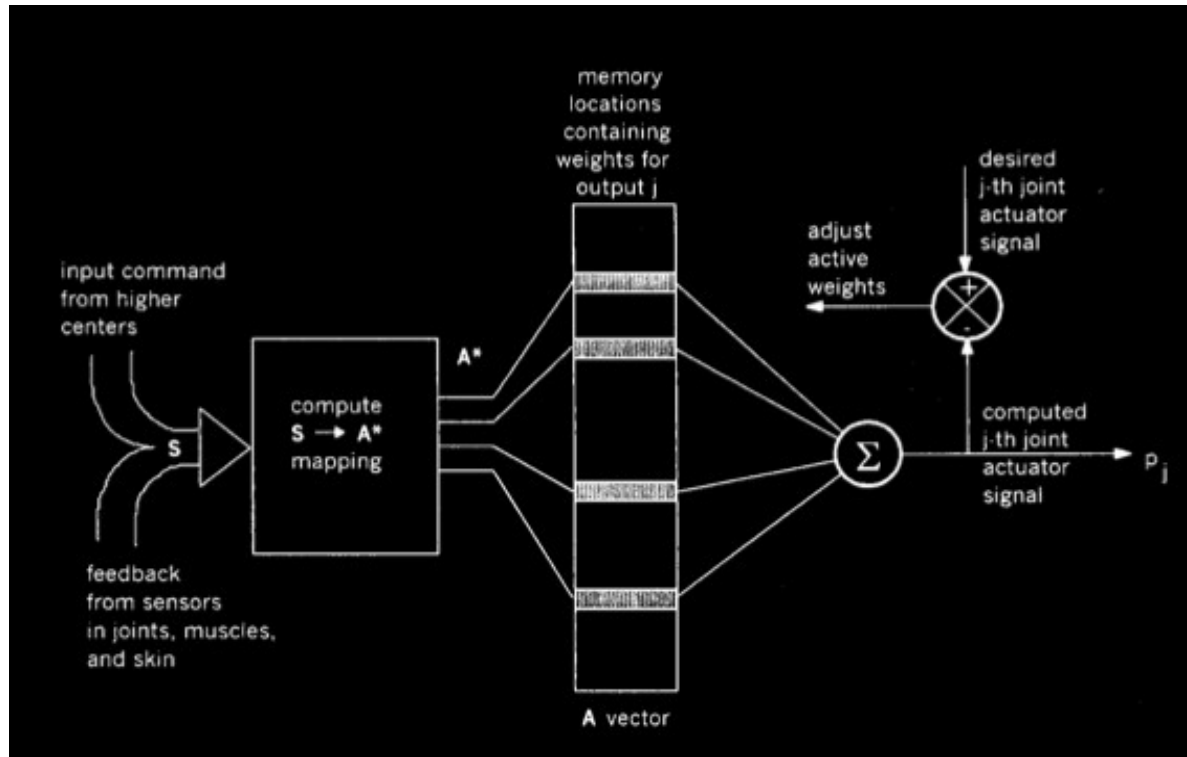
Células da Tabela anterior	Sinal s_3	
	1 (0, 1, 2)	2 (3, 1, 2)
(0, 0), (1, 1), (2, 2)	(0, 0, 0), (1, 1, 1), (2, 2, 2)	(0, 0, 3), (1, 1, 1), (2, 2, 2)
(3, 0), (1, 1), (2, 2)	(3, 0, 0), (1, 1, 1), (2, 2, 2)	(3, 0, 3), (1, 1, 1), (2, 2, 2)
...
(6, 0), (7, 1), (5, 2)	(6, 0, 0), (7, 1, 1), (5, 2, 2)	(6, 0, 3), (7, 1, 1), (5, 2, 2)
(3, 3), (1, 1), (2, 2)	(3, 3, 0), (1, 1, 1), (2, 2, 2)	(3, 3, 3), (1, 1, 1), (2, 2, 2)
(3, 3), (4, 1), (2, 2)	(3, 3, 0), (4, 1, 1), (2, 2, 2)	(3, 3, 3), (4, 1, 1), (2, 2, 2)
...



Sistemas de Controle *Fuzzy*

- Sistemas baseados em lógica ~~fuzzy~~;
- Modelo baseado em variáveis linguísticas e base de conhecimento;
- Em geral de fácil modelagem e implementação e comparação a outras técnicas de controle;

Treinamento da CMAC

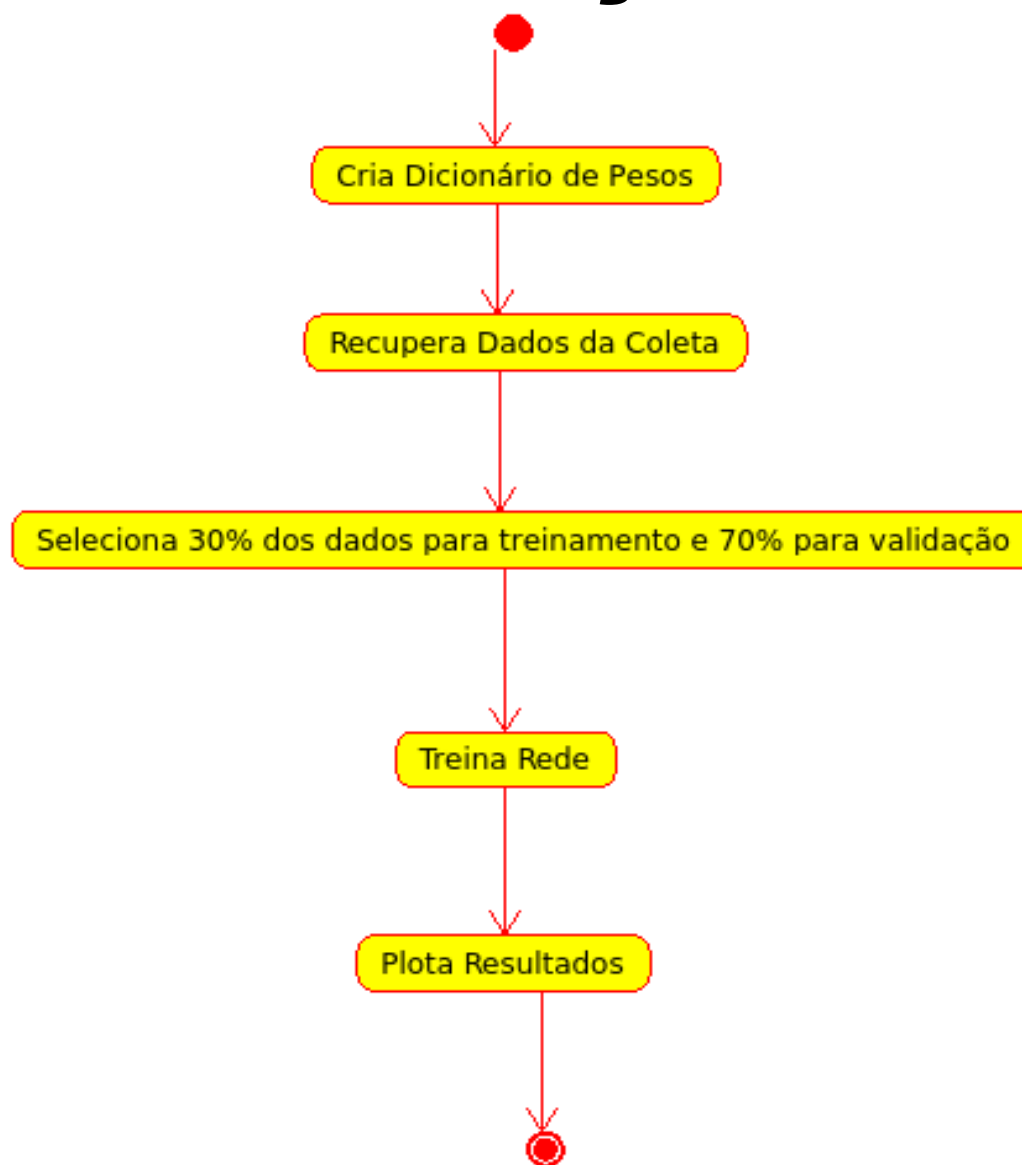


ALBUS, 1975

$$w_i = w_i + [\alpha(D - P)] / NW$$

SAUBORIN, 2012

Visão Geral do Treinamento e da Validação

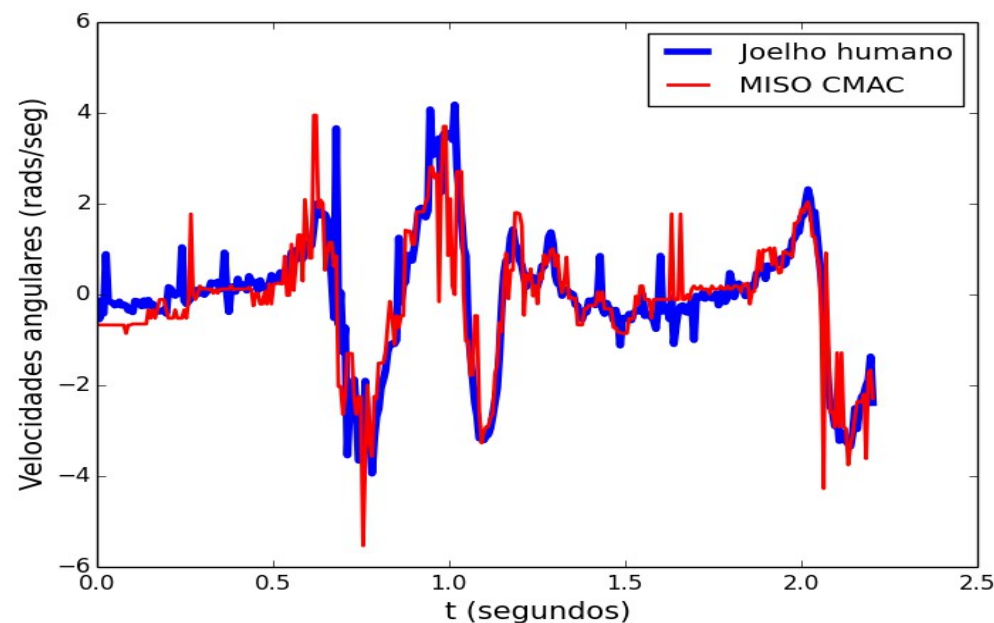




Exemplo Validação

Abaixo um gráfico gerado para uma miso CMAC:

- *Sinais de entrada posições X, Y, Z, do joelho esquerdo;*
- *3 ativações de pesos;*
- *15 valores discretos para cada sinal de entrada;*
- *50 iterações de treinamento;*
- *Como saída a aproximação da velocidade angular do joelho direito.*





Interface Gráfica para Configuração de Parâmetros

Motus

File

Description Num. Iterations

Activations Output

Parameters Configuration

<input type="checkbox"/> Left angular velocities	<input type="text" value="1"/>
<input type="checkbox"/> Right angular velocities	<input type="text" value="1"/>
<input type="checkbox"/> Left angles	<input type="text" value="1"/>
<input type="checkbox"/> Right angles	<input type="text" value="1"/>
<input type="checkbox"/> Left angular accelerations	<input type="text" value="1"/>
<input type="checkbox"/> Right angular accelerations	<input type="text" value="1"/>
<input type="checkbox"/> Left x angular velocities	<input type="text" value="1"/>
<input type="checkbox"/> Left y angular velocities	<input type="text" value="1"/>
<input type="checkbox"/> Left z angular velocities	<input type="text" value="1"/>
<input type="checkbox"/> Right x angular velocities	<input type="text" value="1"/>
<input type="checkbox"/> Right y angular velocities	<input type="text" value="1"/>
<input type="checkbox"/> Right z angular velocities	<input type="text" value="1"/>

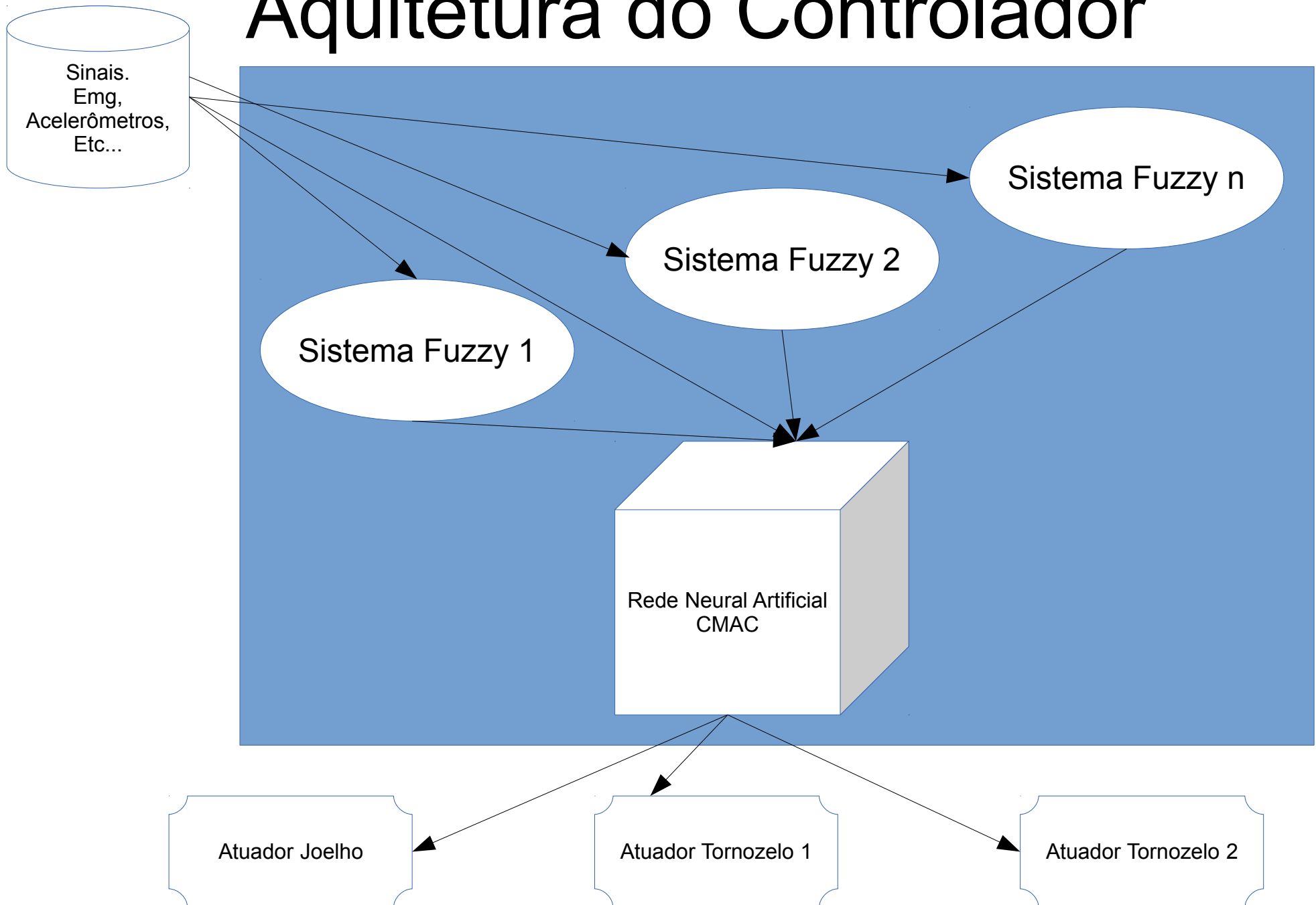


Controle *Fuzzy* no Projeto

- Alterar o comportamento da RNA, para tornar a prótese adaptável a diferentes ciclos de marcha
 - Exemplo:
 - Terreno em aclave,
 - Terreno em declive,
 - Correr,
 - Ultrapassar obstáculos,
 - Subir escadas,
 - Etc...



Aquitetura do Controlador





Cronograma

ATIVIDADES	2015					
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Artigo <i>Word Congress in Medical Physic and Biomedical Engineering</i> (2015)		X				
Artigo <i>International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)</i> 2015	X					
Artigo de Revista <i>IEEE Transactions on Biomedical Engineering</i>			X			
Terminar desenvolvimento do <i>Data Loader</i>	X					
Terminar desenvolvimento do <i>Motus</i>	X	X				
Desenvolver controladores <i>fuzzy</i>			X	X		
Coletar dados de ciclo alternativo			X			
Escrever a dissertação	X	X	X	X		
Revisar e entregar a dissertação					X	
Defesa Final						X



Tópico em aberto

- Construir um protótipo de prótese e validar o controlador.



Fim

Obrigado!