



Automação Inteligente de Processos e Sistemas

Prof. Dr. Rogério Andrade Flauzino
USP/EESC/SEL
raflauzino@usp.br

12 de setembro de 2023

1. *Sistemas Inteligentes*

- Conjunto de ferramentas computacionais que tentam **simular** alguns **mecanismos inteligentes** encontrados na natureza (seres humanos).
- É constituído por cinco grandes áreas:
 - ❖ **Redes Neurais Artificiais;**
 - ❖ Sistemas de Inferência Fuzzy;
 - ❖ Computação Evolutiva (Algoritmos Genéticos);
 - ❖ Inteligência Coletiva (*Swarm*);
 - ❖ Agentes Autônomos;
 - ❖ + Áreas Emergentes (Sistemas Imunológicos, Vida Artificial, Neurociências, etc.).

2. *Redes Neurais Artificiais (RNA)*

- São modelos computacionais inspirados nos **mecanismos de aprendizagem** do cérebro humano.
- São modelos computacionais que **tentam emular** a forma com que o cérebro usa para **resolver problemas**.
- O processamento de informações no cérebro humano é altamente complexo, não-linear e paralelo.
 - ❖ O cérebro é constituído por cerca de 100 bilhões de neurônios (10^{11}).
 - ❖ Cada neurônio é interligado em média com outros 6.000 neurônios (60 trilhões de sinapses).
 - ❖ Número de neurônios equivale à quantidade de estrelas da via Láctea.

3. Principais Características das RNA

- **Adaptação por Exemplos e Capacidade de Generalização**
 - ❖ Parâmetros internos da rede são ajustados a partir da apresentação sucessiva de exemplos (dados, medidas, sinais, etc.).
- **Organização de Dados e Clusterização**
 - ❖ Baseada em características marcantes do conjunto de dados, a rede realiza sua organização interna a fim de agrupar amostras com similaridades em comum.
- **Tolerância a Falhas e Armazenamento Distribuído**
 - ❖ Devido ao elevado nível de interconexões, a rede torna-se um sistema tolerante a falhas quando parte de sua estrutura interna for corrompida.
- **Facilidade de Prototipagem e de Integração**
 - ❖ A implementação da maioria das arquiteturas neurais pode ser facilmente prototipadas em hardware ou em software.
 - ❖ Após treinamento, os resultados são normalmente obtidos por algumas operações matemáticas elementares.

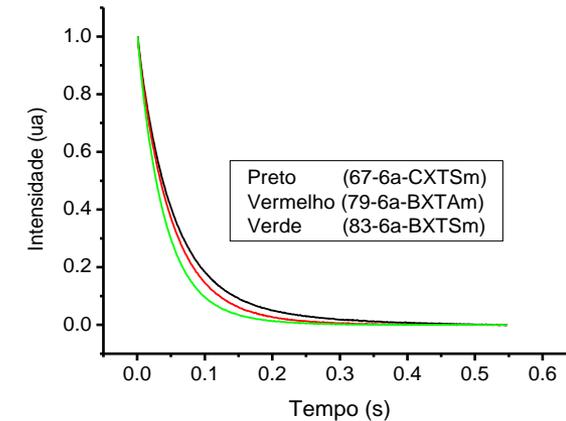
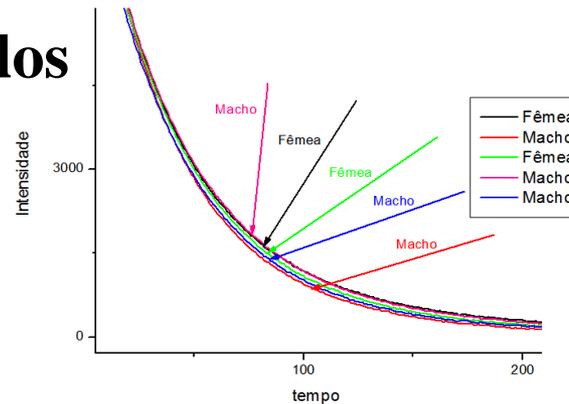
4. Exemplo (I) – Controle de Qualidade

Classificação Automática usando Ressonância Magnética e RNA

❖ Classificar de maneira não-invasiva as peças de carne (Sexo e Grupo Genético).C

➤ Adaptação por Exemplos

❖ Sinais da Ressonância.

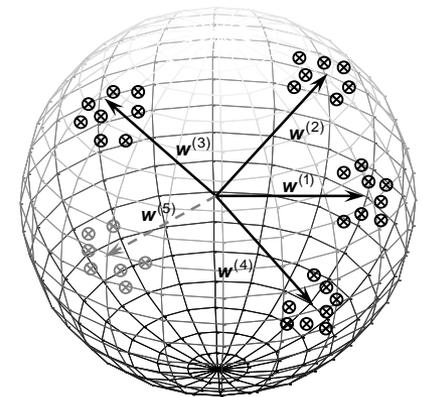
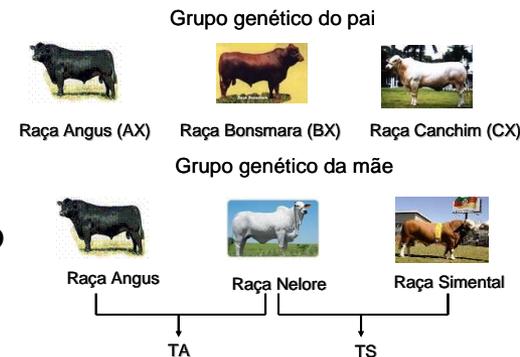


➤ Organização de Dados (Clusters)

❖ Extração de assinaturas que são características das classes.

➤ Generalização & Integração

❖ Sistema Inteligente de Classificação visando o reconhecimento rápido e automático das peças de carne.



4. Exemplo (II) – Injeção Eletrônica

Substituição de Sensor de Oxigênio por Sensor Virtual Inteligente

- ❖ Sensoriamento virtual de oxigênio em veículos bicom bustíveis (flex).
- ❖ Estimar o nível de oxigênio em função de outras variáveis que são medidas no motor.

➤ Adaptação por Exemplos

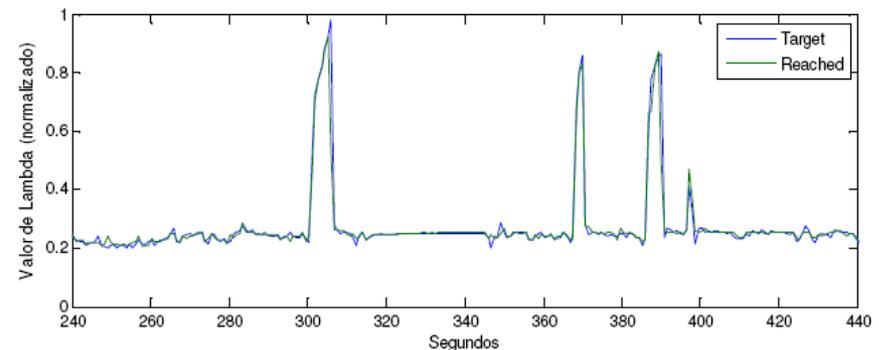
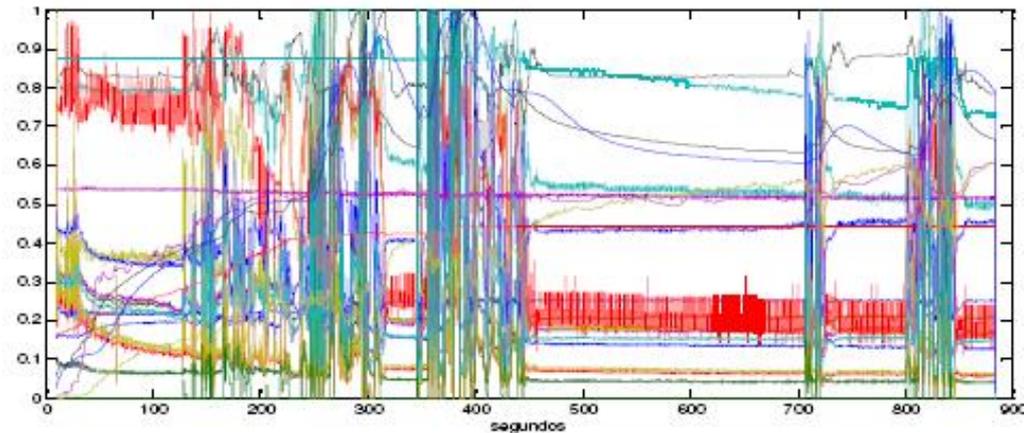
- ❖ Diversas composições de etanol/gasolina são usadas a fim de treinar a RNA para aprender o comportamento do processo.
- ❖ Otimização do valor de Lambda.

➤ Organização de Dados

- ❖ Seleção das variáveis que mais contribuem para o desempenho do processo (42 variáveis).

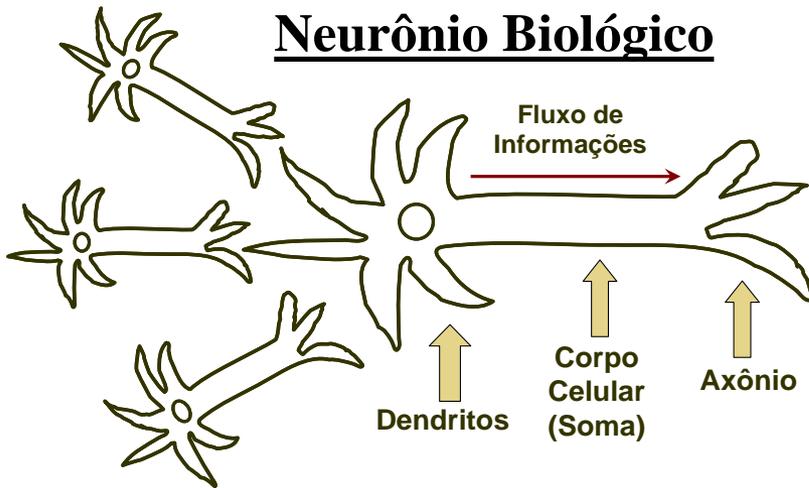
➤ Generalização & Integração

- ❖ Implementação da RNA no SGM de veículos bicom bustíveis (flex).

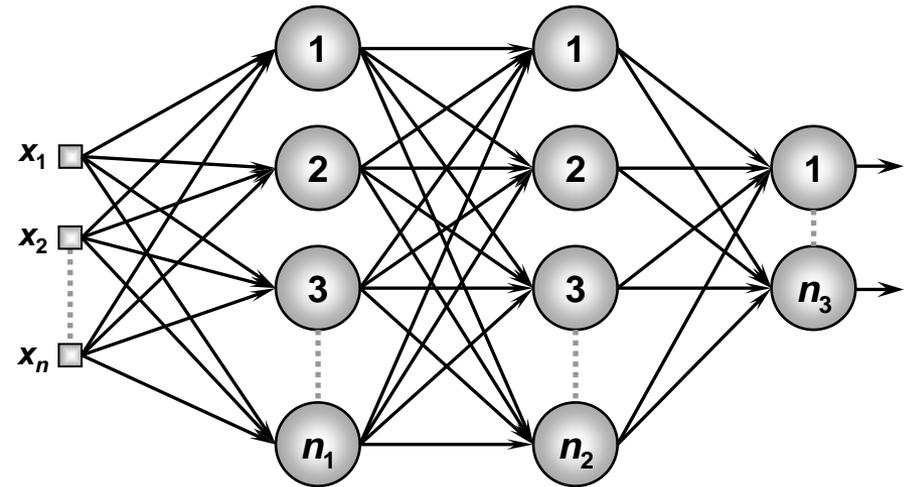


5. Neurônios Biológicos e Artificiais

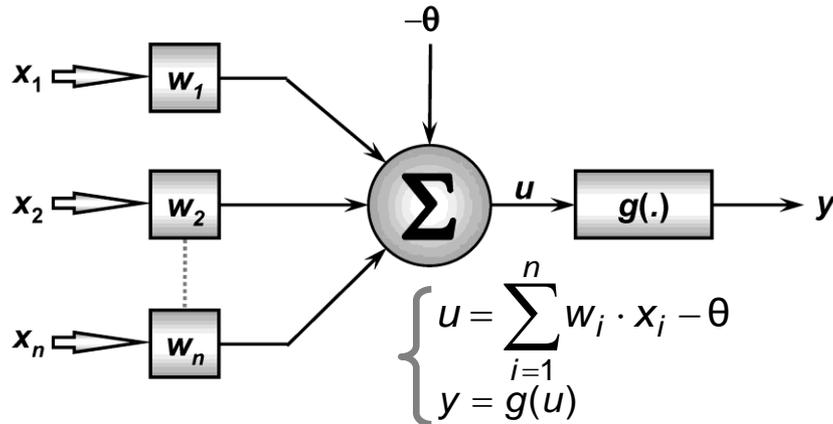
Neurônio Biológico



Rede Neural Artificial



Neurônio Artificial



- Sinais de entrada $\rightarrow \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$
- Pesos sinápticos $\rightarrow \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$
- Combinador linear $\rightarrow \{\Sigma\}$
- Limiar de ativação $\rightarrow \{\theta\}$
- Potencial de ativação $\rightarrow \{u\}$
- Função de ativação $\rightarrow \{g\}$
- Sinal de saída $\rightarrow \{y\}$

6. Como as RNA Aprendem e Operam

➤ **Aprendizado Supervisionado (resposta desejada disponível)**

1. Apresente uma amostra de treinamento;
2. Calcule a saída produzida pela rede;
3. Compare com a saída desejada;
4. Se estiver dentro de valores aceitáveis:

Então → Termine o processo de aprendizado;

Senão → Ajuste os pesos sinápticos dos neurônios e volte ao passo 1.

➤ **Aprendizado Auto-Organizado (resposta desejada indisponível)**

1. Apresente todas as amostras de treinamento;
2. Obtenha as características que marcam as amostras de treinamento;
3. Agrupe todas as amostras com características em comum;
4. Ajuste os pesos sinápticos dos neurônios a fim de reconhecer os diferentes grupos.

7. Requisitos P/ Usar RNA em Projetos

- **Disponibilização Apenas de Medidas (Dados) do Processo**
 - ❖ Para ser usada em qualquer aplicação, independente de sua complexidade, há somente a necessidade de disponibilizar alguns dados (medidas) que regem o comportamento do sistema.

- **Sem Necessidade de Uso de Modelos Matemáticos**
 - ❖ Devido ao próprio mecanismo que a rede utiliza para aprender, por meio de dados quantitativos relacionando entradas/saídas, há então a extração automática do comportamento que rege a dinâmica do sistema.

- **Definir Quais São as Variáveis de Entrada/Saída**
 - ❖ Para ser usada em qualquer aplicação, uma das poucas tarefas exigidas é a seleção das variáveis de entrada a fim de se produzir as variáveis de saída.

8. *Como Integrar RNA nos Projetos*

➤ **Em Simplificação/Minimização de Modelos**

- ❖ Substituição de modelos matemáticos complexos por modelos baseados em RNA, a fim de se obter aqui uma simplificação que leve ao aumento de produtividade.

➤ **Em Sistemas Operando em Tempo-Real**

- ❖ Após o treinamento das RNA, a produção de respostas são extremamente rápidas (multiplicação matricial), as quais podem ser usadas em sistemas de tempo-real.

➤ **Em Otimização de Desempenho de Processos**

- ❖ Aplicação que visa otimizar o desempenho do processo usando apenas os seus próprios dados de medição (considerados verdadeiros).

➤ **Em Sistemas de Previsão de Relacionamentos**

- ❖ A partir de dados de diferentes setores da indústria, há então a possibilidade de inter relacioná-los a fim de se extrair eventuais tendências (Ex. Estimar uma variável (cara) em função de outras; Sensores Virtuais; etc.).

9. Aplicações de RNA na Indústria (I)

➤ **Manufatura & Manutenção**

- ❖ Sistemas para organizar tarefas de manufatura em lotes que operam com restrições;
- ❖ Sistemas de planejamento baseados em conhecimento;
- ❖ Sistemas para gerenciamento e otimização de tarefas de manutenção;
- ❖ Sistemas que supervisionam o funcionamento de redes de automação industrial, integrando a comunicação entre máquinas, etc.

➤ **Otimização & Planejamento**

- ❖ Otimização de operações envolvendo processos industriais;
- ❖ Otimização de problemas de logística;
- ❖ Otimização de produção (materiais, máquinas, recursos, mão-de-obra, etc.);
- ❖ Otimização de recursos energéticos, etc.

9. Aplicações de RNA na Indústria (II)

➤ **Previsão de Preços/Vendas/Tendências**

- ❖ Sistemas para auxiliar na decisão de preços de venda;
- ❖ Sistemas para previsão de mercados (ações, commodities, etc.);
- ❖ Sistemas para identificação de perfis de crédito, análise de propostas, etc.;
- ❖ Sistemas para estimação de tendências futuras (serviços, produtos, etc.).

➤ **Diagnóstico de Falhas**

- ❖ Detecção e identificação de falhas de instrumentação;
- ❖ Diagnóstico de falhas em redes de automação industrial;
- ❖ Ações estratégicas de auto-recuperação após ocorrência de falhas;
- ❖ Integração de variáveis dos processos a fim de minimizar falhas, etc.

9. Aplicações de RNA na Indústria (III)

➤ **Controle de Qualidade & Classificação de Padrões**

- ❖ Sistemas para classificação automática de produtos;
- ❖ Sistemas para reconhecimento de objetos, peças, equipamentos, etc.;
- ❖ Sistemas para detectar desgastes de ferramentas e tempo de vida útil;
- ❖ Sistemas para estabelecer condições ótimas de operação (ex. soldagem).

➤ **Controle de Processos**

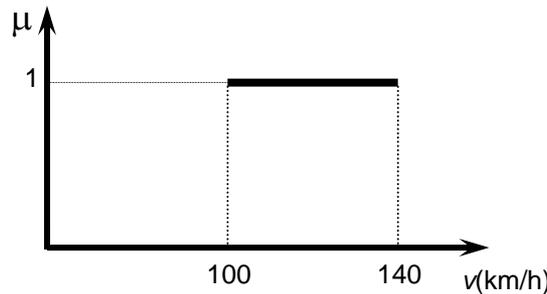
- ❖ Controle de processos industriais com um todo;
- ❖ Controle de máquinas e dispositivos industriais;
- ❖ Controle de sistemas aeroespaciais (aeronaves, helicópteros, satélites, etc.);
- ❖ Controle de sistemas automotivos (freios ABS, suspensão ativa, controle de tração, etc.).

10. *Sistemas de Inferência Fuzzy (I)*

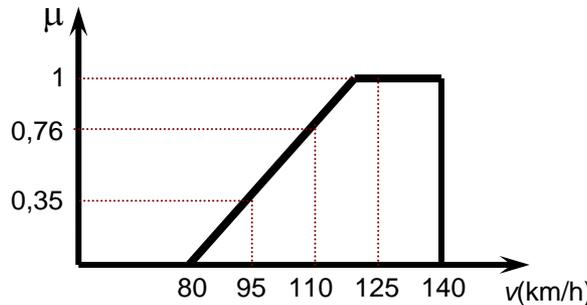
- São sistemas que tentam explorar as formas que o cérebro usa para o tratamento de informações qualitativas e incertas.
- Principais características:
 - **Exploram intensamente a riqueza da informação (dados qualitativos).**
 - **Permitem expressar imprecisões e incertezas de forma implícita (Ex: churrascaria).**
 - **O raciocínio é executado em sua forma aproximada (não exata).**
 - **Sistemas baseados em regras lingüísticas.**

10. Sistemas de Inferência Fuzzy (II)

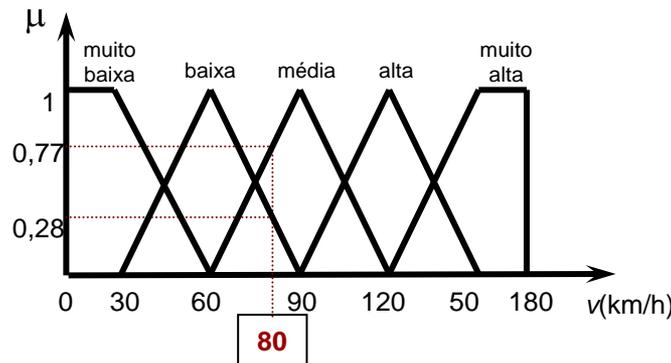
Representação gráfica do conceito de “Velocidade Alta”:



Lógica Clássica
objetos **pertencem** ou **não** a
uma determinada classe
(como tratar paradoxos?)



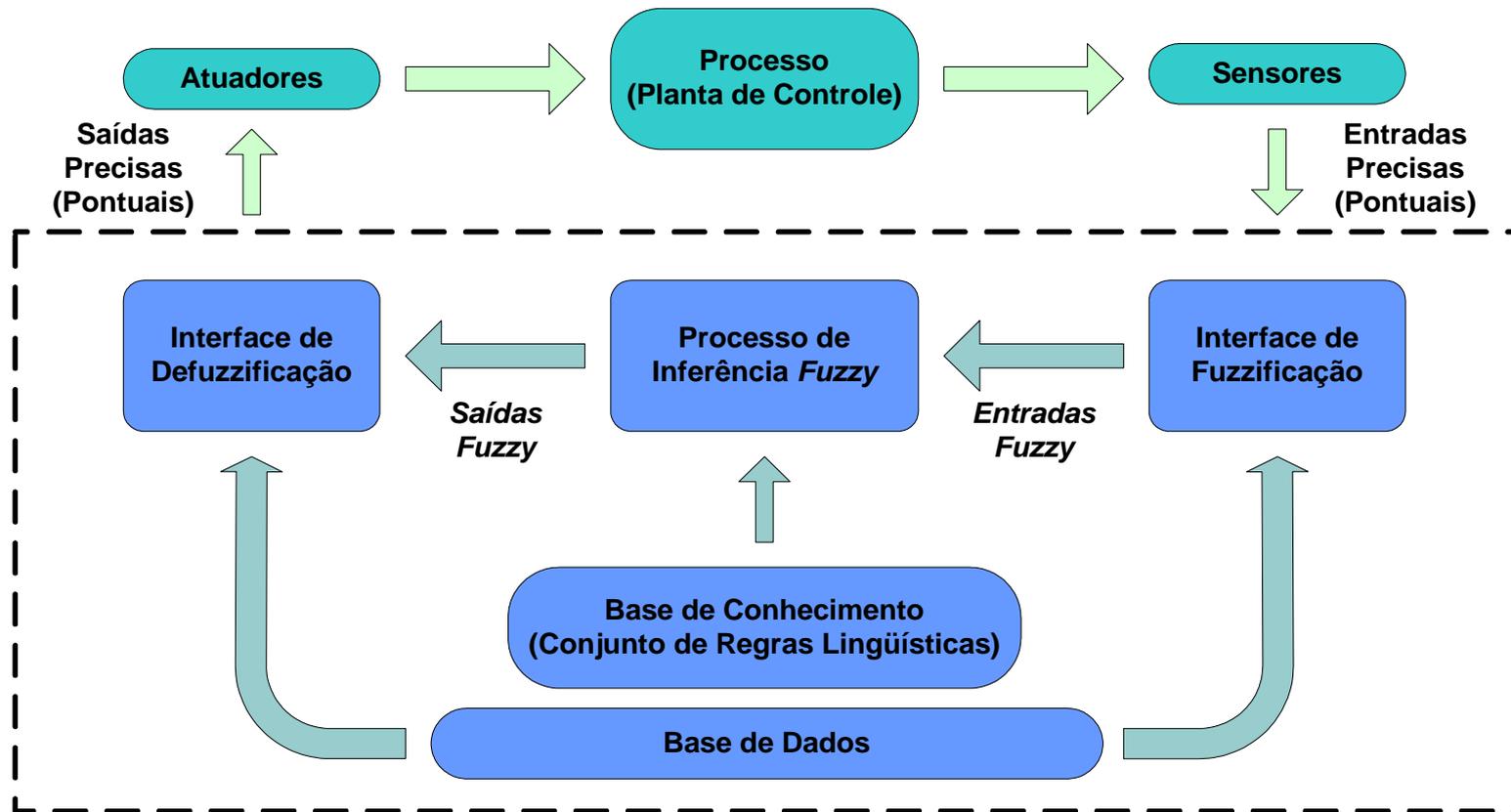
Lógica Fuzzy
objetos podem **pertencer**
mais (ou **menos**) a uma
determinada classe
(**não é probabilidade!**)



Sistema Fuzzy
Variáveis representadas
por **funções de pertinência**

10. Sistemas de Inferência Fuzzy (III)

Modelo Genérico de Sistema Fuzzy:



10. Sistemas de Inferência Fuzzy (IV)

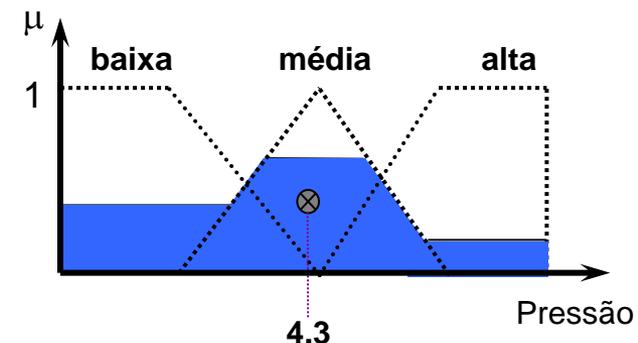
Mecanismo de Inferência de Resultados:

➤ Consiste na análise de regras contendo a seguinte forma:

- ❖ Se velocidade é baixa & aceleração é alta
 - Então a pressão no freio é média
- ❖ Se velocidade é baixa & aceleração é baixa
 - Então a pressão no freio é baixa
- ❖ Se velocidade é média & aceleração é alta
 - Então a pressão no freio é alta

➤ Procedimentos de obtenção da resposta

- ❖ Analisa-se cada regra fuzzy;
- ❖ Calcula-se a contribuição de cada uma;
- ❖ Computa-se a região fuzzy de saída;
- ❖ Obtém-se a resposta do sistema fuzzy.



11. Aplicações de Sistemas Fuzzy (I)

Em Sistemas Elétricos de Potência:

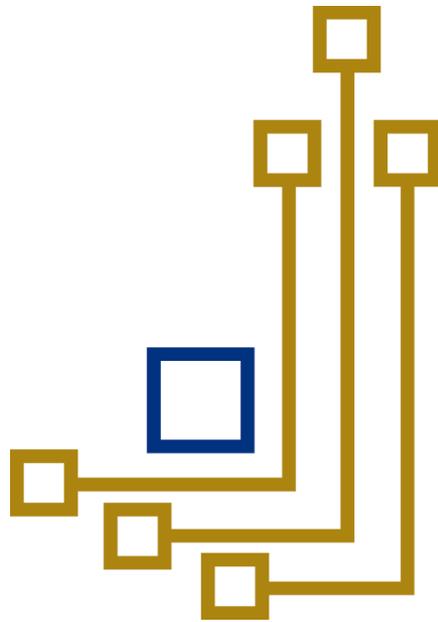
- Estimação eficiente de grandezas elétricas em função de outras variáveis.
- Identificação e localização de faltas em sistemas de distribuição/transmissão.
- Classificação de transitórios referentes à qualidade da energia elétrica.
- Previsão de cargas em diversos horizontes de planejamento.
- Aplicações em problemas envolvendo despacho de potência.

11. Aplicações de Sistemas Fuzzy (II)

Em Sistemas de Automação Industrial:

- Estimação da qualidade global de café.
- Análise do tráfego de redes de computadores utilizando protocolo SNMP.
- Previsão de tendências do mercado de ações.
- Sistema para diagnóstico de doenças.
- Identificação de padrões de adulterantes em pó de café.
- Reconhecimento de distúrbios relacionados à qualidade da energia elétrica.
- Controle de trajetória de robôs móveis usando sistemas fuzzy.
- Método para classificação de tomates usando visão computacional.

USP



Núcleo de Pesquisa em
AUTOMAÇÃO INTELIGENTE
de Processos e Sistemas