



## **SISTEMAS INTELIGENTES**

### **Prática 8 – Sistemas de Inferência Fuzzy (Implementação do Processo de Inferência)**

Ivan Nunes da Silva



### **Objetivos da Aula**

- Implementação dos procedimentos computacionais que visam explorar o mecanismo de inferência fuzzy a partir da aplicação do operador de implicação de Mamdani.
- Delinear os aspectos práticos dos procedimentos computacionais quando os mesmos devem ser implementados em hardware dedicado.



## Resumo do Processo de Inferência (I)

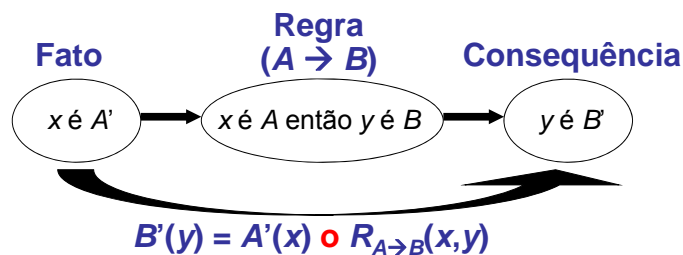
➤ De posse de conjunto de “fato”, “regra” e “consequência”, tem-se:

**Fato:**  $x \text{ é } A'$

**Regra:** **Se**  $x \text{ é } A$  **então**  $y \text{ é } B$

**Consequência:**  $y \text{ é } B'$

Este processo pode ser interpretado geometricamente por:



Onde: “o” indica uma operação de composição Max-Min, e  $R_{A \rightarrow B}$  é uma função de implicação, tipicamente aquela proposta por Mamdani.

$$\mu_{R_{A \rightarrow B}}(x, y) = \min\{ \mu_A(x), \mu_B(y) \}$$

Implicação “Min” de Mamdani

3



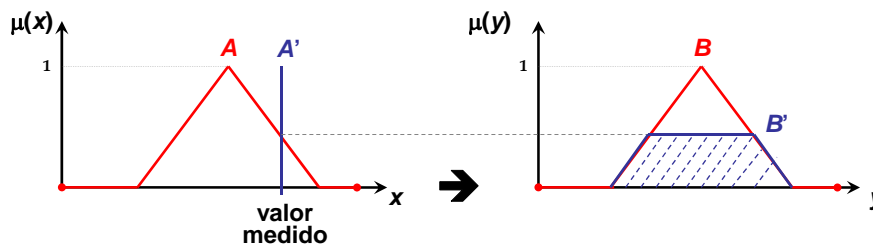
## Resumo do Processo de Inferência (II)

➤ Interpretação geométrica do processo de inferência:

**Fato:**  $x \text{ é } A'$

**Regra:** **Se**  $x \text{ é } A$  **então**  $y \text{ é } B$

**Consequência:**  $y \text{ é } B'$

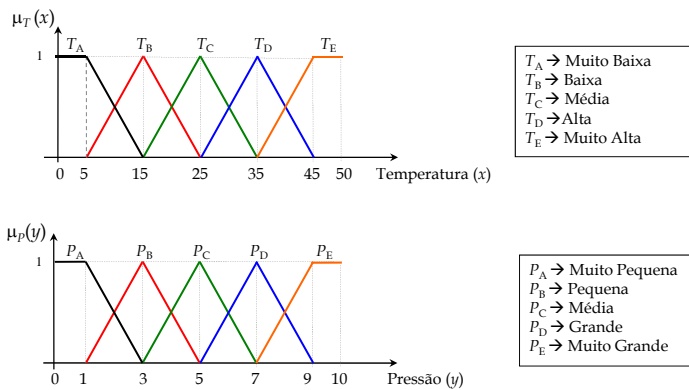


4



## Introdução ao Problema Prático (I)

Considere as funções de pertinência abaixo as quais estão descrevendo duas variáveis fuzzy  $T$  e  $P$ . A variável  $T$  está associada à temperatura (entrada) de um processo industrial, enquanto a variável  $P$  está representando a pressão (saída) do mesmo.



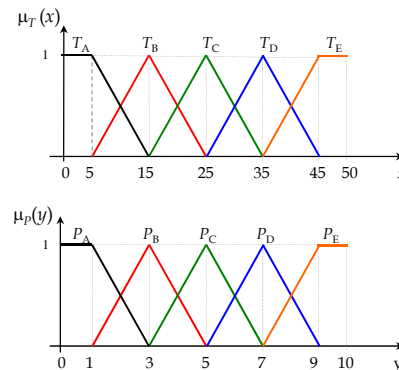
5



## Introdução ao Problema Prático (II)

Sabe-se que o processo de inferência é do tipo Mamdani, sendo que a partir de valores de temperatura se deseja obter valores de pressão. O conjunto de regras fuzzy é dado pelas seguintes sentenças:

1. Se (Temperatura é  $T_A$ ) então (Pressão é  $P_B$ )
2. Se (Temperatura é  $T_B$ ) então (Pressão é  $P_C$ )
3. Se (Temperatura é  $T_C$ ) então (Pressão é  $P_D$ )
4. Se (Temperatura é  $T_D$ ) então (Pressão é  $P_E$ )
5. Se (Temperatura é  $T_E$ ) então (Pressão é  $P_A$ )



6

## Implementação Computacional {Parte I} (Avaliação do Singleton)



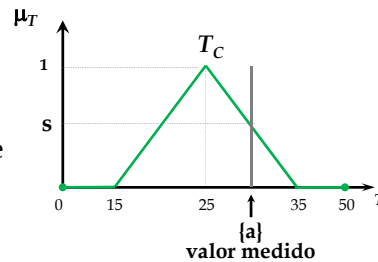
1. Implemente uma função “singleton” que, dado um vetor  $\{y\}$  contendo os graus de pertinência de um **antecedente** {entrada} no universo de discurso discretizado  $\{x \leftrightarrow T\}$ , retorne o grau de pertinência  $\{s \leftrightarrow \mu_T\}$  associado ao sinal de entrada  $\{a\}$ .

$$s = \text{singleton}(x, y, a)$$

Exemplo: Para  $a = 30 \rightarrow s = 0.5$

Para a função de pertinência triangular  $\{T_C\}$ , obtenha os valores de “s” para os seguintes valores de “a”:

- Temperatura  $T = a = 13.3^\circ\text{C}$ .
- Temperatura  $T = a = 18.8^\circ\text{C}$ .
- Temperatura  $T = a = 30.0^\circ\text{C}$ .
- Temperatura  $T = a = 47.3^\circ\text{C}$ .



Obs. Utilize a função **vetTriang** (aula anterior) para obter os valores de “x” e “y”, adotando 500 pontos de discretização.

7

## Implementação Computacional {Parte II} (Obtenção do Conjunto Fuzzy de Saída B')

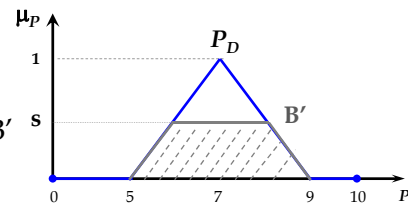


2. Implemente uma função que, dado um vetor  $\{y\}$  contendo os graus de pertinência de um **consequente** {saída}, retorne um vetor que represente a função de pertinência  $B' \{b\}$  inferida a partir do valor do singleton  $\{s\}$ .

$$b = \text{saida}(y, s)$$

Para o consequente  $\{P_D\}$  referente ao antecedente  $\{T_C\}$ , plote os conjuntos  $B'$   $\{b\}$  para os seguintes valores de “T”:

- Temperatura  $T = 13.3^\circ\text{C}$ .
- Temperatura  $T = 18.8^\circ\text{C}$ .
- Temperatura  $T = 30.0^\circ\text{C}$ .
- Temperatura  $T = 47.3^\circ\text{C}$ .



Obs. Utilize a função **vetTriang** (aula anterior) para obter os valores de “x” e “y”, adotando 500 pontos de discretização.

8



3. Determine e plote num mesmo gráfico, para cada um dos valores abaixo, as regiões fuzzy individuais de saída relativas à aplicação de cada regra fuzzy ativada (em relação ao slide 6).

- a) Temperatura  $T = 13.3$  °C.
- b) Temperatura  $T = 18.8$  °C.
- c) Temperatura  $T = 30.0$  °C.
- d) Temperatura  $T = 47.3$  °C.

### Observações:

- Imprima todos os gráficos deste exercício em uma mesma tela gráfica.
- Utilizar 500 pontos de discretização para ambos os universos de discurso.
- Utilizar como regra de implicação o operador de Mamdani.

