



Human-Centered Data & AI



Vinicius Caridá, Ph.D.

- Executive Specialist, Artificial Intelligence and Data - Itaú
- MBA Professor – FIAP and ESPM



@vinicius caridá



@vfcarida



@vinicius caridá



@vfcarida



@vinicius caridá



@vfcarida

“

Lógica Fuzzy

Introdução

- Lógica Fuzzy
 - Desenvolvida por Lofti A. Zadeh em 1965 (Universidade da Califórnia em Berkeley).
 - Estudos iniciados devido a dificuldade em representar dados imprecisos com a lógica binária.
 - Como modelar matematicamente um conceito impreciso?

Introdução – Sistemas Especialistas

- Os Sistemas Especialistas podem ser caracterizados como sistemas que reproduzem o conhecimento de um especialista adquirido ao longo dos anos de trabalho.
- São sistemas que solucionam problemas que são resolvíveis apenas por pessoas especialistas (que acumularam conhecimento exigido) na resolução destes problemas.
- Programas de computador que tentam resolver problemas que os seres humanos resolveriam emulando o raciocínio de um especialista, aplicando conhecimentos específicos e inferências são ditos Sistemas Especialistas.

Introdução – Sistemas Especialistas

- Pode-se classificar os SE's quanto às características de seu funcionamento.
- Interpretação
- Diagnóstico
- Monitoramento
- Predição
- Planejamento
- Projeto
- Depuração
- Reparo
- Instrução
- Controle

Introdução

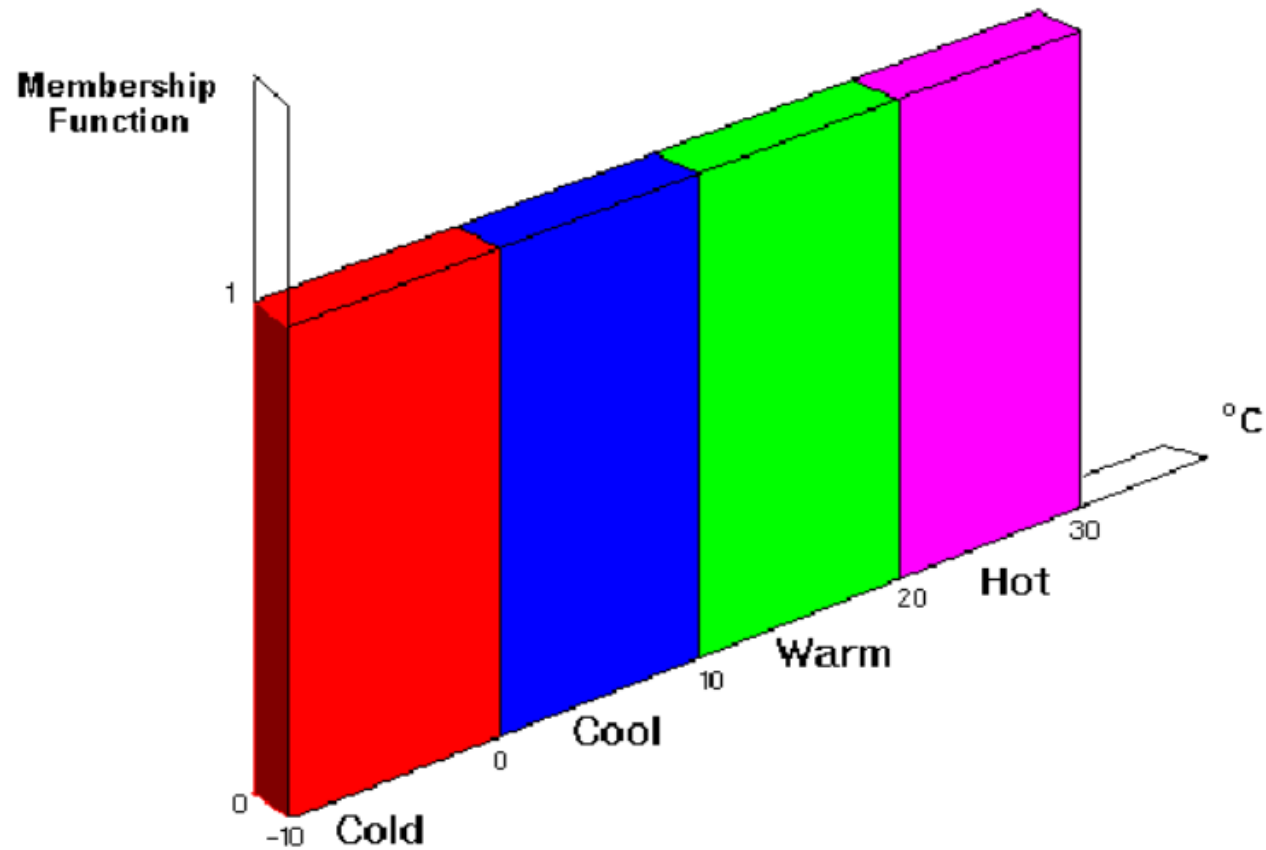
- Foco:
 - Lógica Fuzzy
 - Lógica Multivalorada.
 - Conhecida também como lógica difusa.
 - Trata conhecimento vago, impreciso.
 - Utiliza linguagem natural.

Lógica Binária

- Uma declaração é falsa ou verdadeira, não havendo nada entre esses limites
- Pela função característica, é determinado se o elemento pertence ou não ao conjunto.

$$f_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se e somente se } x \in A \\ 0 & \text{se e somente se } x \notin A \end{cases}$$

Lógica Binária



Conjuntos não-fuzzy para caracterizar a temperatura de um ambiente.

Conjunto Fuzzy

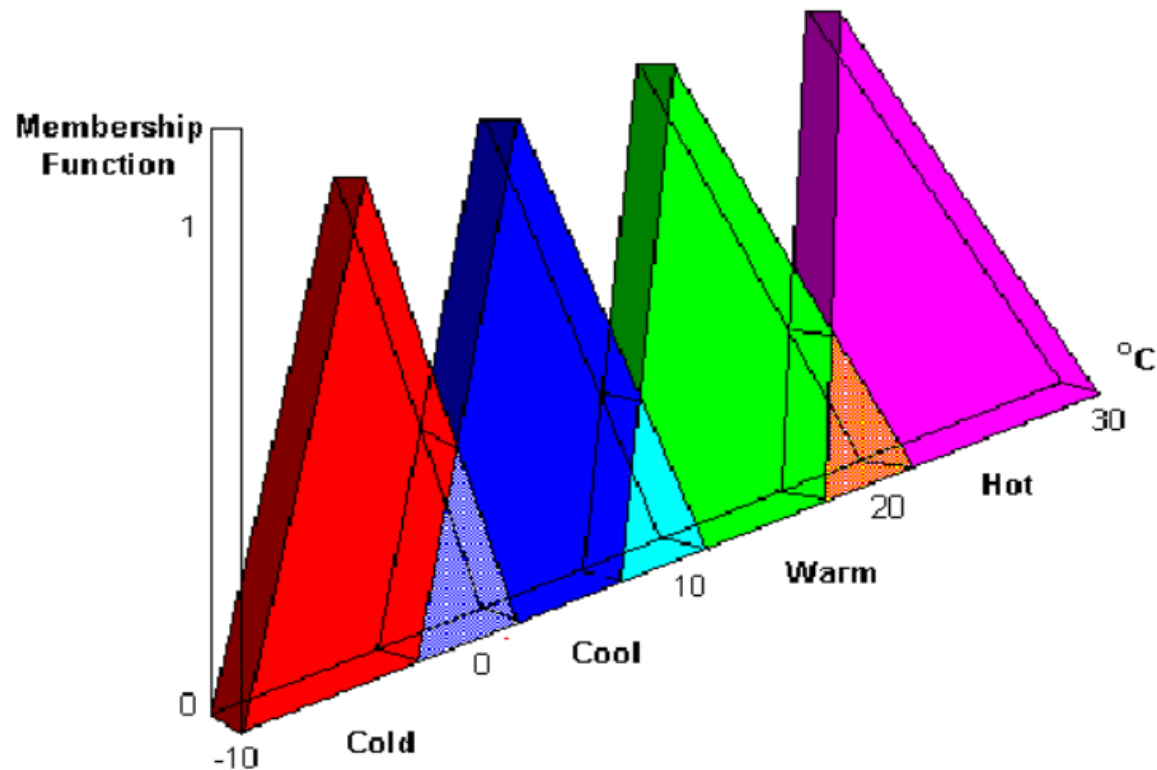
Um simples sim ou um não como resposta a algumas questões é, na maioria das vezes, vago, incompleto

Abrir um pouco da válvula de pressão?

Conjuntos Fuzzy

- Extensão da teoria clássica de conjuntos.
- Fronteiras dos conjuntos não muito bem delimitadas.
- Função Característica para definir o quanto um elemento pertence ao conjunto.

Conjuntos Fuzzy



Conjuntos fuzzy para caracterizar a temperatura de um ambiente.

Conjuntos Fuzzy

- **Função de Pertinência**

- Usados para representar conceitos imprecisos.
- Grau de compatibilidade do elemento com o conjunto.
- Intervalo de $[0,1]$.

Conjuntos Fuzzy

- **Função de Pertinência**
 - Pode ser representada de várias formas:
 - Gráfica;
 - Tabular;
 - Lista;
 - Entre outras...

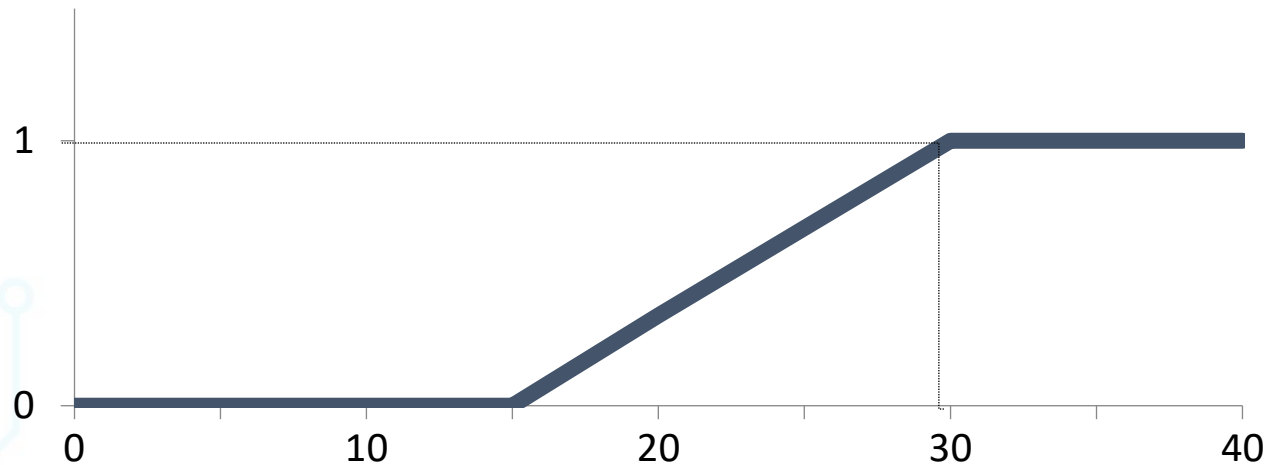
Conjuntos Fuzzy

- **Função de Pertinência**

Gráfica:

- Exemplo:

Temperatura Alta



Conjuntos Fuzzy

- **Função de Pertinência**

Tabular:

- Exemplo:

$x \in TD$	$\mu_{TA}(x)$
0	0
5	0
10	0
15	0
20	0,34
25	0,67
30	1
35	1
40	1

Conjuntos Fuzzy

- **Função de Pertinência**

- Lista:

- Exemplo:

$$TA = 0/0 + 0/5 + 0/10 + 0/15 + 0.34/20 + 0.67/25 + 1/30 + 1/35 + 1/40$$

Também é comum ocultar os elementos que possui grau de pertinência igual a zero

$$TA = 0.34/20 + 0.67/25 + 1/30 + 1/35 + 1/40$$

Conjuntos Fuzzy

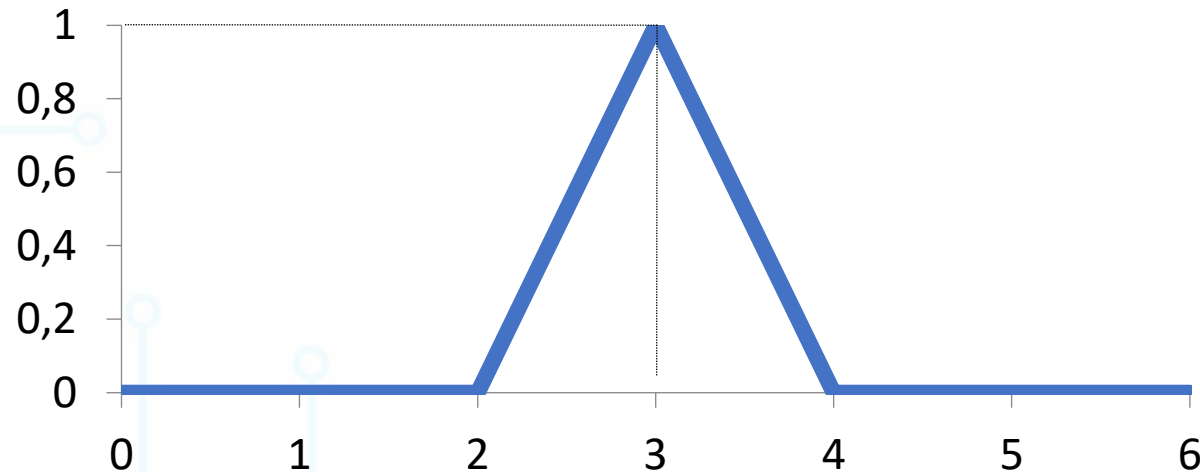
- **Tipos Básicos de Conjuntos Fuzzy**

- Vários tipos (Formato do conjunto).
- Influenciam no cálculo do grau de pertinência.
- Cada tipo possui suas características próprias, com vantagens e desvantagens.
- Para determinar qual é a melhor forma do conjunto é necessário testá-los.

Conjuntos Fuzzy

- **Tipos Básicos de Conjuntos Fuzzy**

Função Triangular:

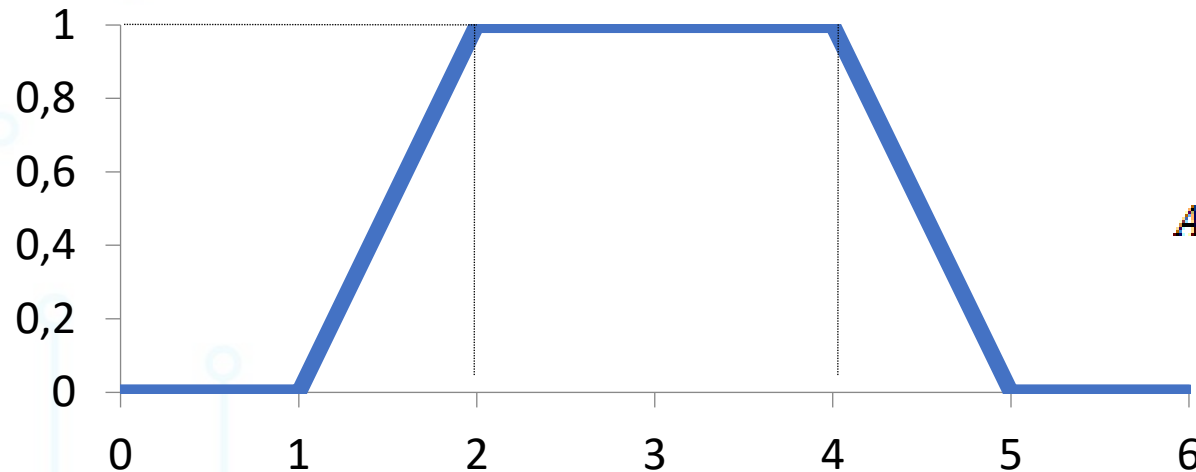


$$= \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ \frac{x - a}{b - a}, & \text{se } x \in [a, b] \\ \frac{c - x}{c - b}, & \text{se } x \in [b, c] \\ 0, & \text{se } x \geq c \end{cases}$$

Conjuntos Fuzzy

- **Tipos Básicos de Conjuntos Fuzzy**

Função Trapezoidal:



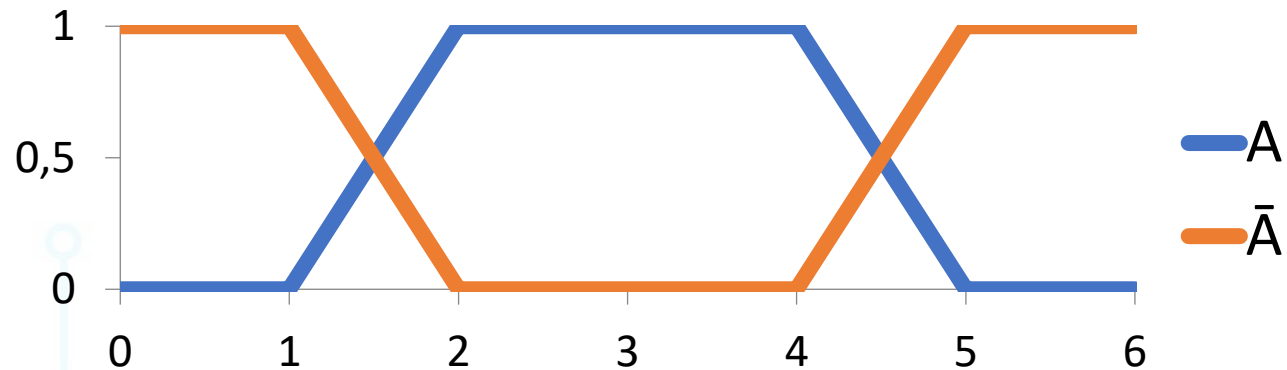
$$A(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \leq a \\ \frac{x - a}{b - a}, & \text{se } x \in [a, b] \\ 1, & \text{se } x \in [b, c] \\ \frac{d - x}{d - c}, & \text{se } x \in [c, d] \\ 0, & \text{se } x \geq d \end{cases}$$

Conjuntos Fuzzy

- **Operações**

- Complemento Fuzzy

$$\bar{A}(x) = 1 - A(x)$$

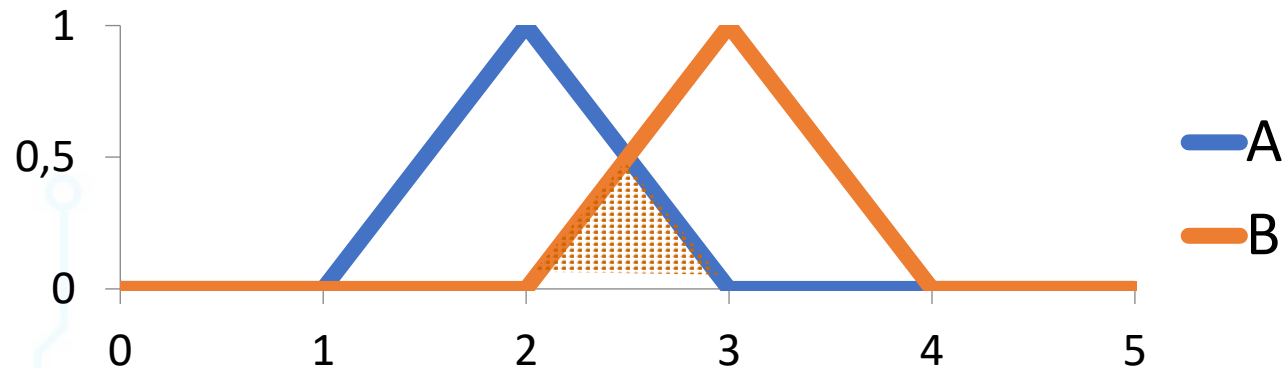


Conjuntos Fuzzy

- **Operações**

Intersecção Padrão Fuzzy

$$(A \cap B)(x) = \min [A(x), B(x)]$$

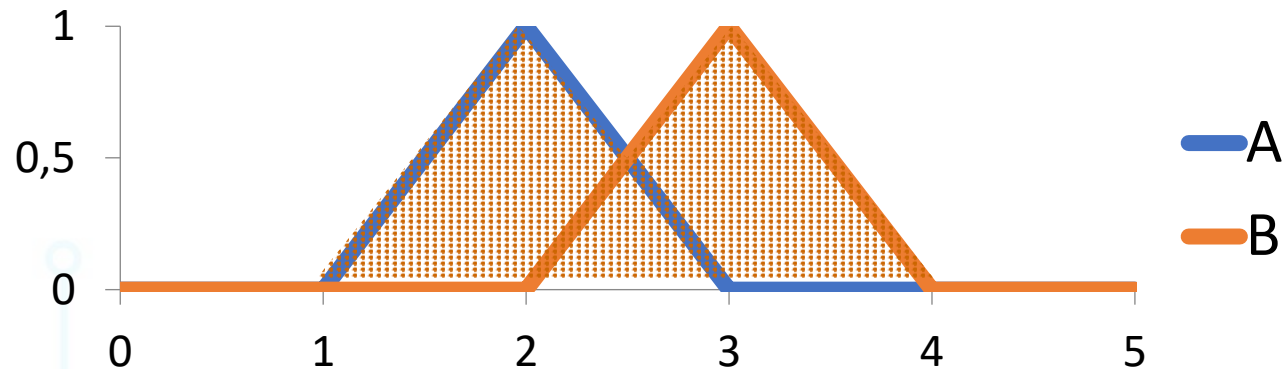


Conjuntos Fuzzy

- **Operações**

- União Padrão Fuzzy

$$(A \cup B)(x) = \max[A(x), B(x)]$$



Conjuntos Fuzzy

- **Operações**

t-normas: modelos genéricos para a operação de intersecção.

- Mínimo:

$$x \text{ t1 } y = \min(x, y)$$

- Produto algébrico:

$$x \text{ t2 } y = x * y$$

- Diferença limitada:

$$x \text{ t3 } y = \max(0, x + y - 1)$$

- Interseção drástica:

$$x \text{ t4 } y = \begin{cases} x & \text{se } y = 1 \\ y & \text{se } x = 1 \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Conjuntos Fuzzy

- **Operações**

s-normas: modelos genéricos para a operação de união.

- Máximo:

$$x \text{ s1 } y = \max(x, y)$$

- Soma algébrica:

$$x \text{ s2 } y = x + y - x * y$$

- Soma limitada:

$$x \text{ s3 } y = \min(1, x + y)$$

- União drástica:

$$x \text{ s4 } y = \begin{cases} x & \text{se } y = 0 \\ y & \text{se } x = 0 \\ 1 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Variáveis Lingüísticas

- As variáveis lingüísticas são definidas sobre uma variável base.
- Associado a um conjunto fuzzy.
- Utilizar termos do nosso cotidiano para expressar o conhecimento.

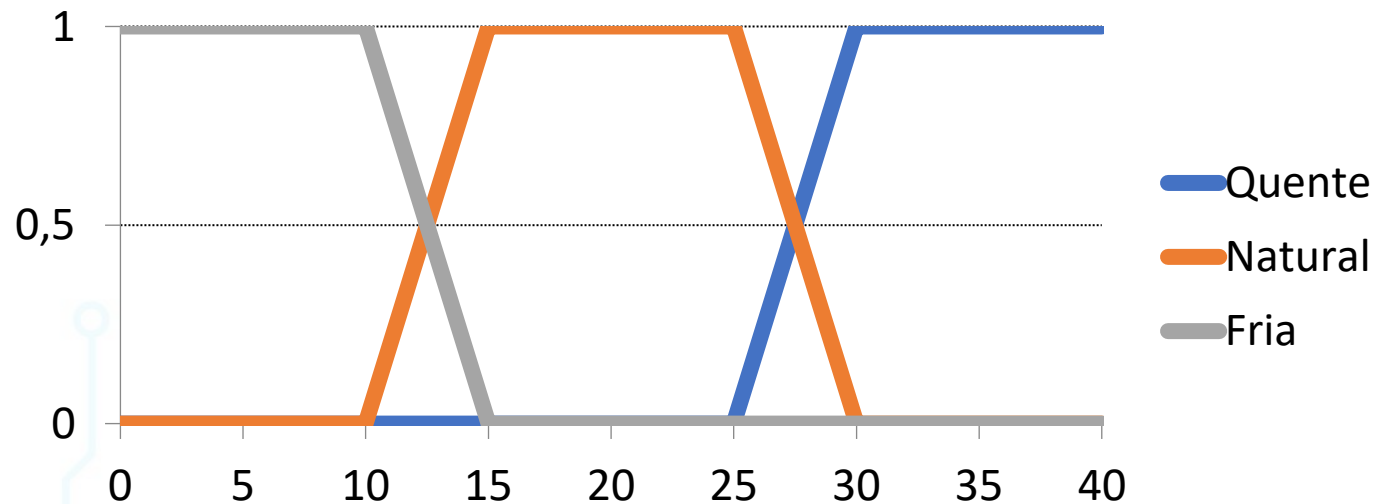
Variáveis Lingüísticas

- Uma variável base pode ser exemplificada por qualquer variável quantitativa (temperatura, pressão, umidade, preço, idade, etc.).
- Os termos linguísticos podem ser associados aos intervalos numéricos, representando valores aproximados:
 - termos primários (alto, baixo, pequeno, médio, grande, zero, por exemplo);
 - conectivos lógicos (negação não, conectivos *e* e *ou*);
 - modificadores (muito, pouco, levemente, extremamente).

Variáveis Lingüísticas

- **Exemplo:**

- Variáveis lingüísticas: Quente, Média, Fria.
- Conjunto Fuzzy: Temperatura.



Lógica Fuzzy

- Lógica fuzzy é um método de formalizar a capacidade humana da imprecisão e do raciocínio aproximado.
- Tal raciocínio representa a habilidade humana de raciocinar aproximadamente e julgar através de incertezas.

Lógica Fuzzy

- Manipulação de informações imprecisas.
- Realização de inferências.
- Obtenção de Conclusões.

Lógica Fuzzy

- **Proposição Fuzzy**

- Compostas por:

- Um ou mais Antecedentes.
- Um ou mais Conseqüentes.
- Estrutura do tipo “IF \rightarrow THEN”.

Lógica Fuzzy

- **Proposição Fuzzy**

- Antecedentes e Conseqüentes:

- Ligados por meio de conectivos:
 - e (\wedge).
 - ou (\vee).
 - Admite utilização de operador unário:
 - não (\sim).

Lógica Fuzzy

- **Proposição Fuzzy**

- Analogia a Causa – Efeito.

- Exemplo:

- *Se temperatura estiver alta **então** ligar ventilador.*
- *Se tempo estiver nublado **e** vento estiver forte **então** não sair.*

Lógica Fuzzy

- **Inferência**

- Avaliação das regras em conjunto com os conjuntos fuzzy e variáveis de entrada.
- Tipos:
 - Mamdani;
 - Sugeno;
 - Larsen;
 - Entre outros...

Lógica Fuzzy

- **Inferência**
Mamdani

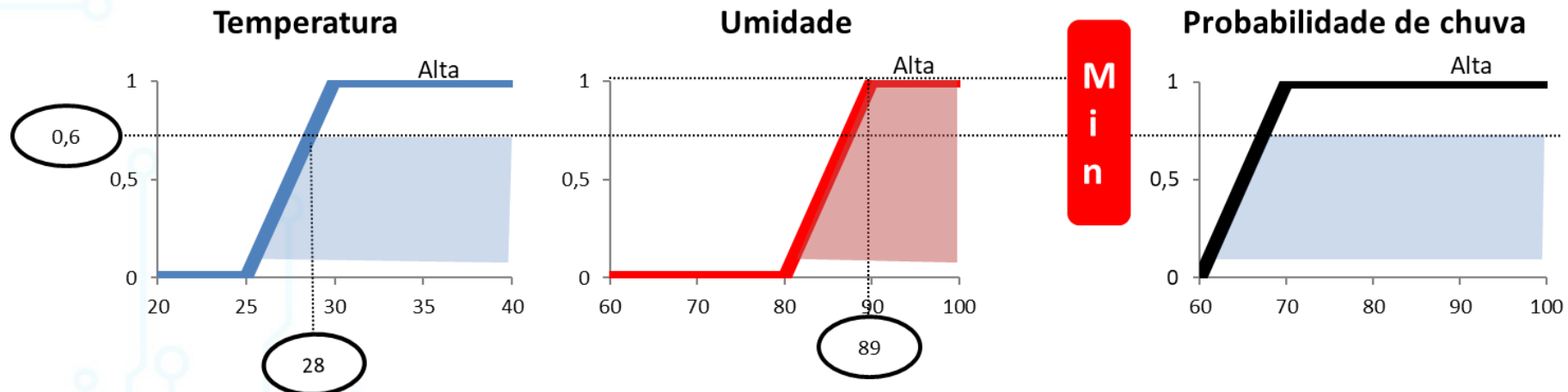
- Inferência composicional simplificada com entradas numéricas.
- Para a inferência utiliza-se Conjunção e Agregação das regras.
- Operador min-max para Conjunção e Agregação.

Lógica Fuzzy

- Inferência
Mamdani

Regra: Se *temperatura* é alta e *umidade* é alta então *probabilidade de chuva* é alta.

Valores: temperatura é igual a 28° e umidade é 89%

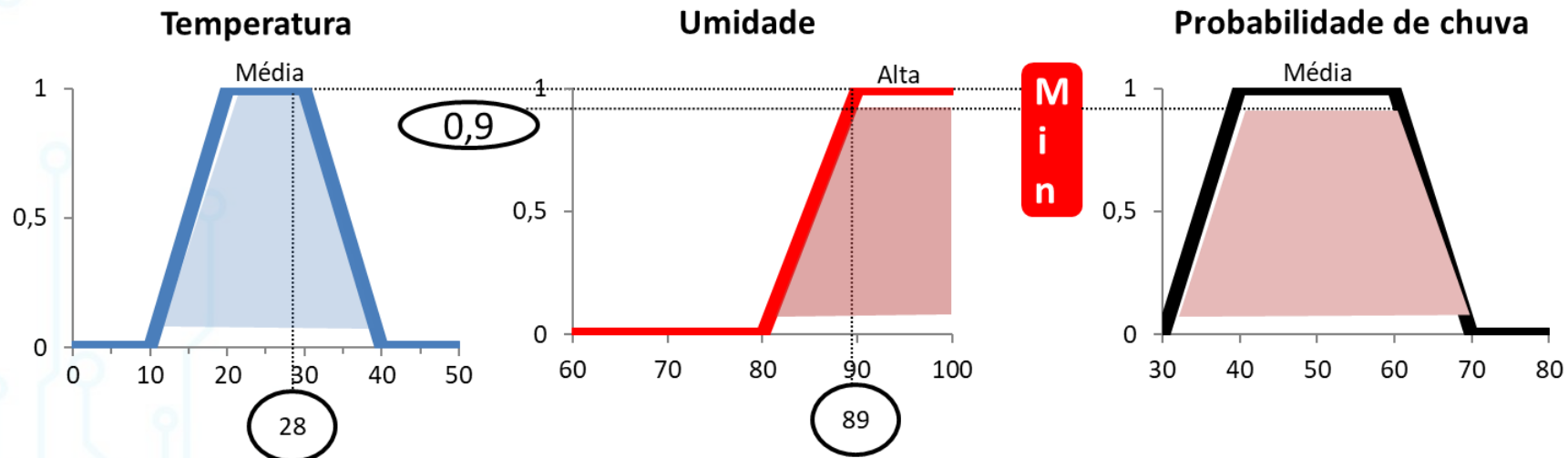


Lógica Fuzzy

- Inferência
Mamdani

Regra: Se *temperatura* é média e *umidade* é alta então *probabilidade de chuva* é média.

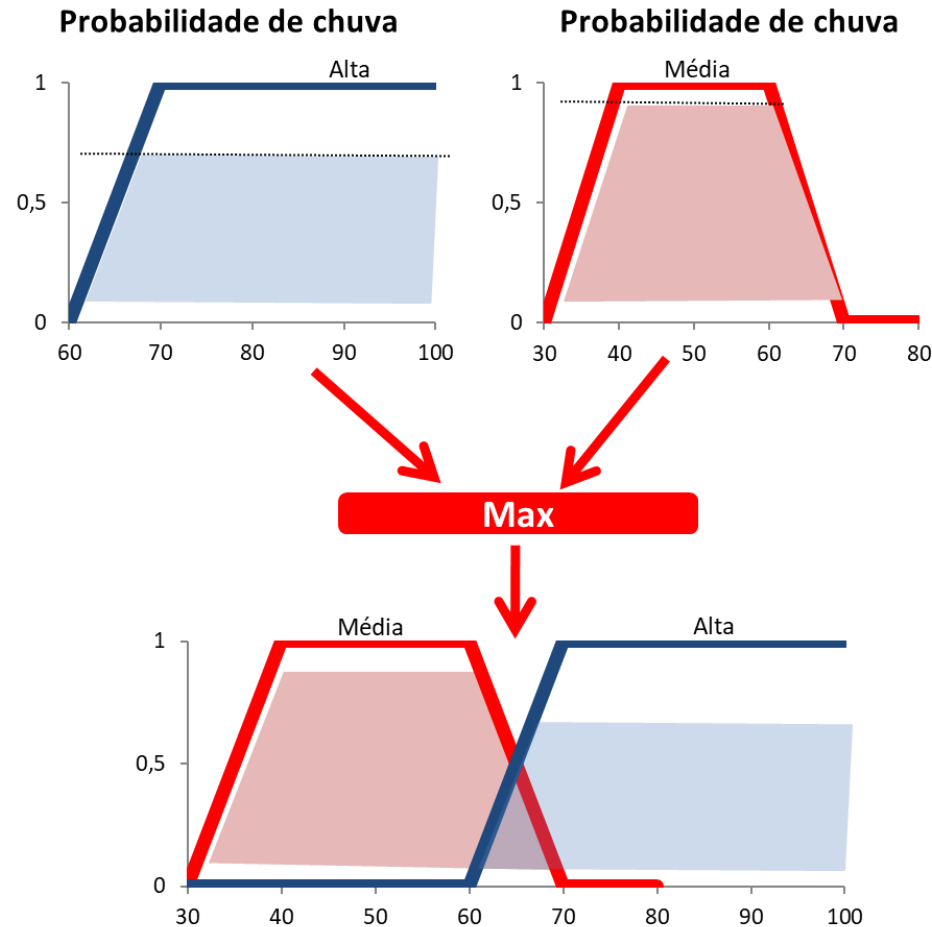
Valores: temperatura é igual a 28° e umidade é 89%



Lógica Fuzzy

- Inferência
Mamdani

- Agregação:



Modelagem Sistemas Fuzzy

- **Sistema Fuzzy**

Fuzzy / Escalar

- Transforma valores fuzzy em crisp
- Utiliza métodos de mapeamento de fuzzy em crisp
- Centro de Área (CoA)

$$CoA(B) = \frac{\sum_{i=0}^D B(y_i) y_i}{\sum_{i=0}^D B(y_i)}$$

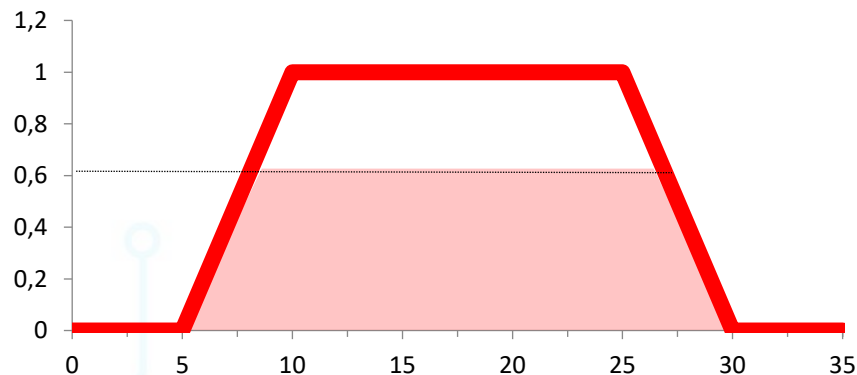
Modelagem Sistemas Fuzzy

- **Sistema Fuzzy**

Fuzzy / Escalar

$$Y = \{0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 25\}$$

- CoA



y_i	$B(y_i)$
0	0
5	0
10	0,6
15	0,6
20	0,6
25	0,6
30	0
35	0

Modelagem Sistemas Fuzzy

- **Sistema Fuzzy**

Fuzzy / Escalar

- CoA

$$CoA(B) = \frac{[(0 * 0) + (0 * 5) + (0,6 * 10) + (0,6 * 15) + (0,6 * 20) + (0,6 * 25) + (0 * 30) + (0 * 35)]}{0 + 0 + 0,6 + 0,6 + 0,6 + 0,6 + 0 + 0}$$

$$CoA(B) = \frac{6 + 9 + 12 + 15}{2,4} = 17,5$$

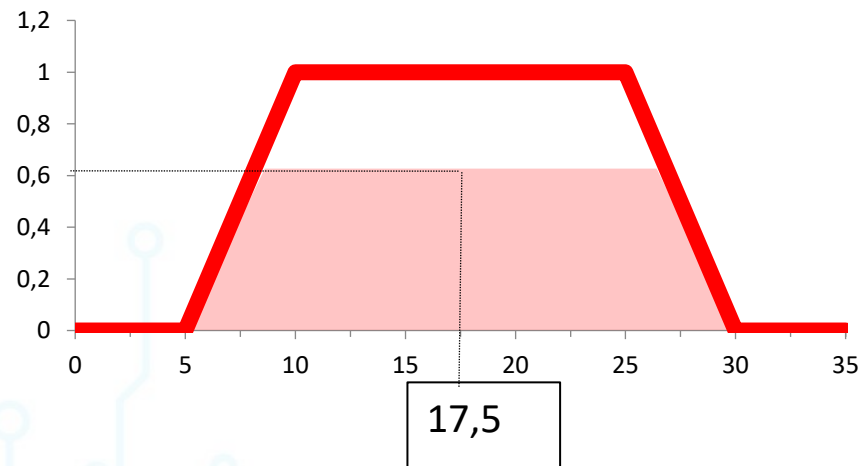
Modelagem Sistemas Fuzzy

- **Sistema Fuzzy**

Fuzzy / Escalar

$$Y = \{0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 25\}$$

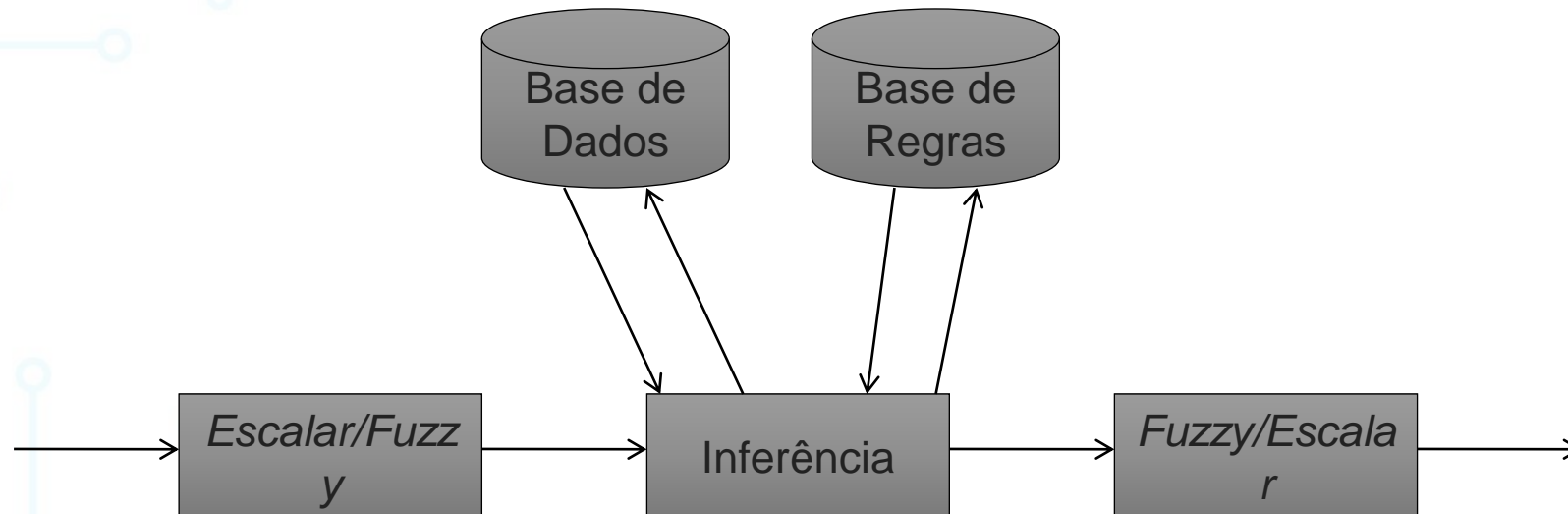
- CoA



y_i	$B(y_i)$
0	0
5	0
10	0,6
15	0,6
20	0,6
25	0,6
30	0
35	0

Modelagem Sistemas Fuzzy

- **Sistema Fuzzy**
Arquitetura



Modelagem Sistema Fuzzy

- Exemplo

Recomendação de Investimento

Variáveis de Entrada

- Variação de Vendas [-100, 100]
{diminuindo, estável, aumentando}
- Sobrecarga de Serviços [0, 100]
{baixa, média, alta}
- Nível de Informatização [0, 100]
{ruim, médio, bom}

Modelagem Sistema Fuzzy

- Exemplo

Recomendação de Investimento

Variáveis de Saída

- Recomendação de Investimento [0, 100]
{leve, média, forte}

Modelagem Sistema Fuzzy

- Exemplo

Recomendação de Investimento

Regras

Se V está aumentando e S é alta e I é bom então R é forte

Se V está aumentando e S é média e I é bom então R é média

Se V está aumentando e S é baixa e I é bom então R é leve

Se V está aumentando e S é média I é ruim então R é forte

Fatos

V= 55, S= 60 e I= 85

Implementação de Exemplo

Controle *Fuzzy* – *exemplo*

- Especificação:

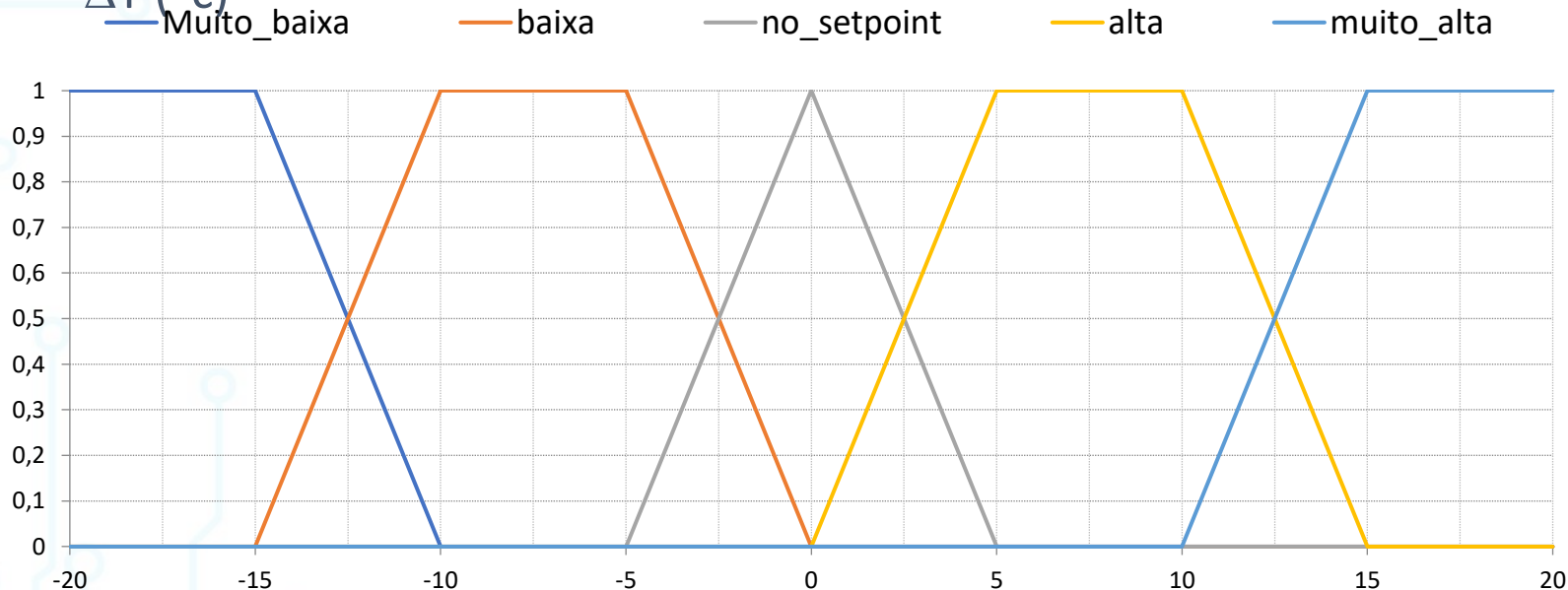
Criar um controlador *fuzzy* para realizar o controle de temperatura de um ambiente.

Controle *Fuzzy* – exemplo

- 1º) Determinar variáveis de entrada e saída:

- Variáveis de entrada:

- $\Delta T (^{\circ}\text{C})$

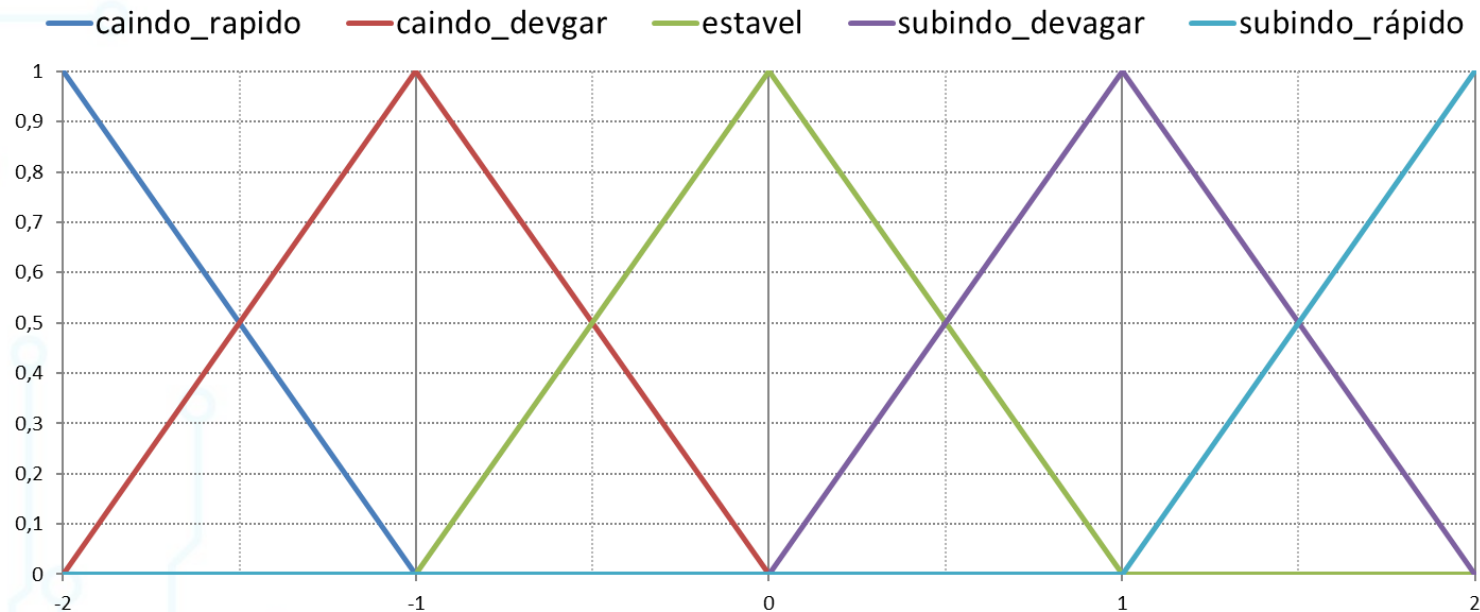


Controle *Fuzzy* – exemplo

- 1º) Determinar variáveis de entrada e saída:

- Variáveis de entrada:

- Gradiente ($^{\circ}\text{C/s}$)

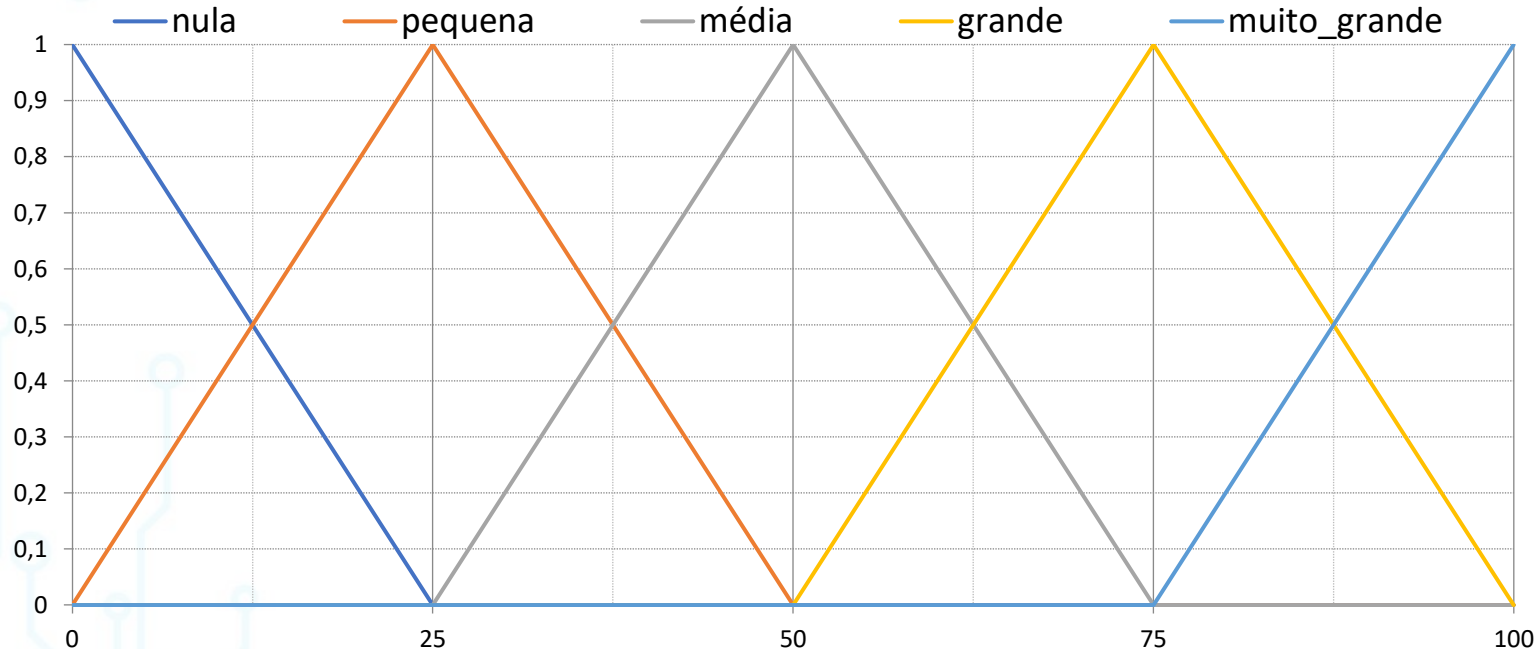


Controle *Fuzzy* – exemplo

- 1º) Determinar variáveis de entrada e saída:

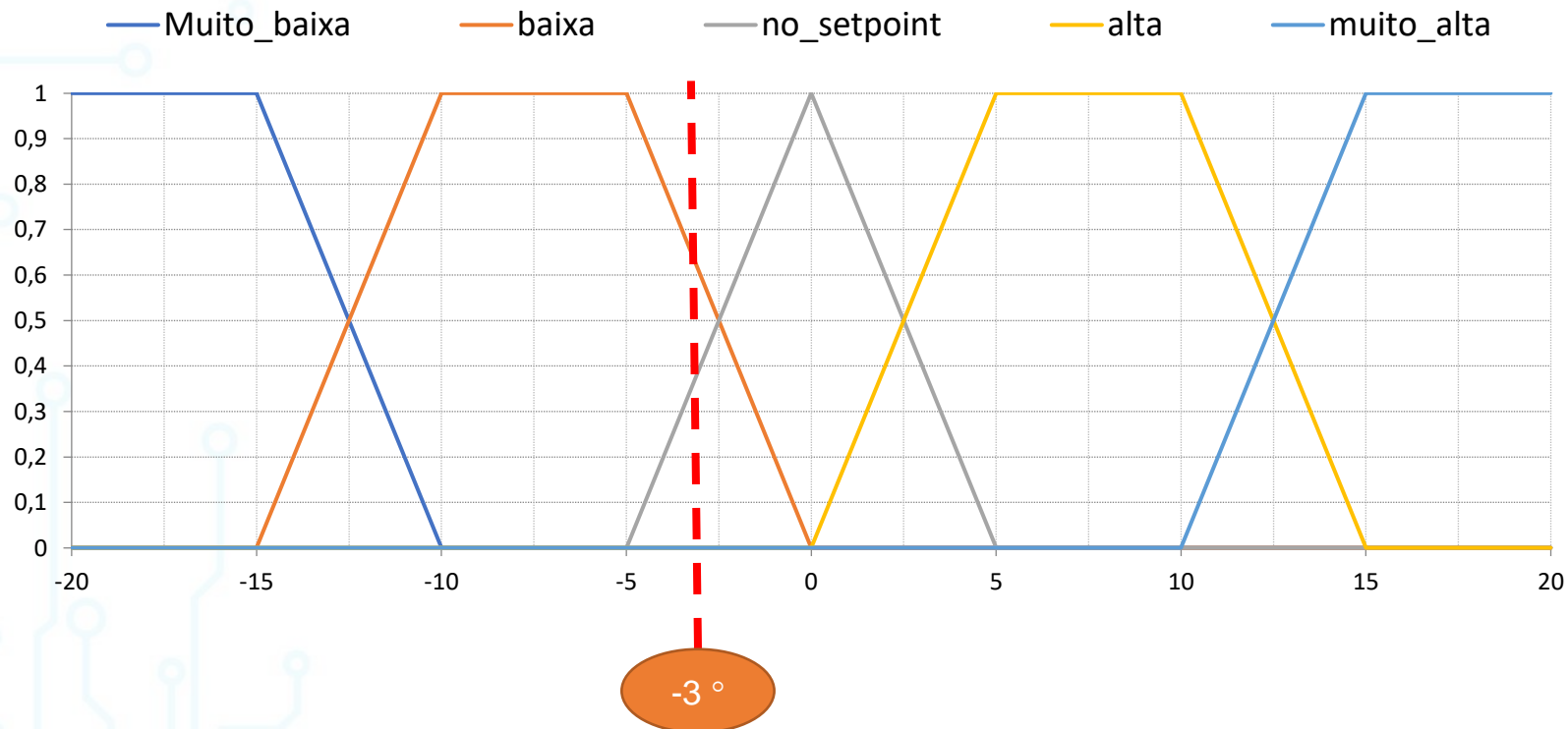
- Variáveis de saída:

- Modulação por largura de pulso - PWM (%)



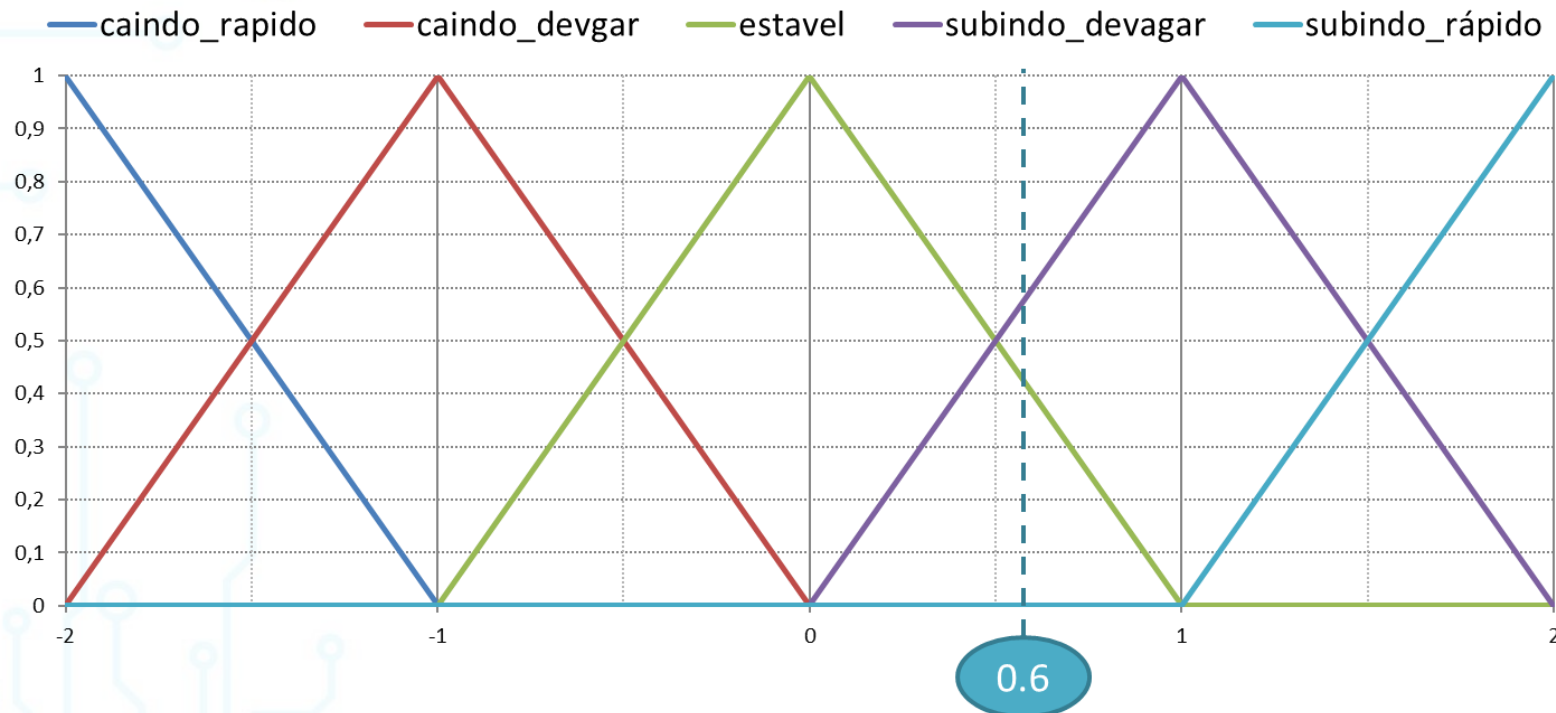
Controle *Fuzzy* – exemplo

- 2º) Definir variáveis de entrada:
 - ΔT : -3°C



Controle *Fuzzy* – exemplo

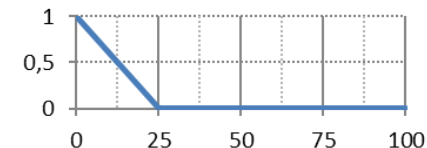
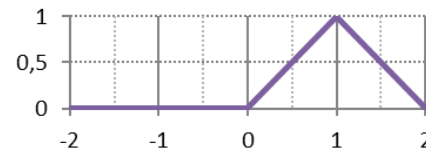
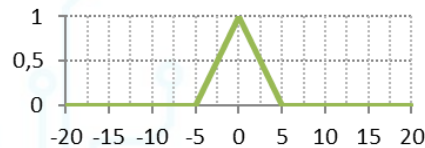
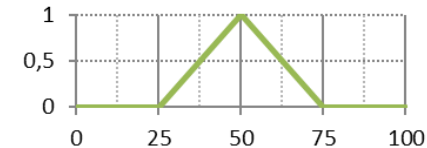
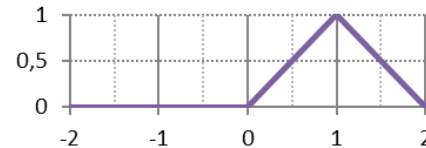
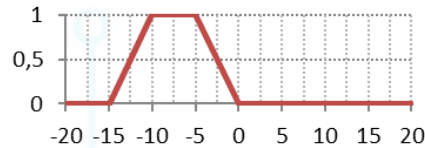
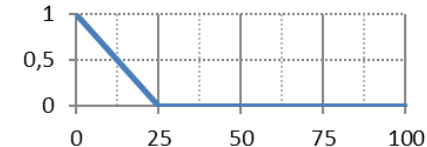
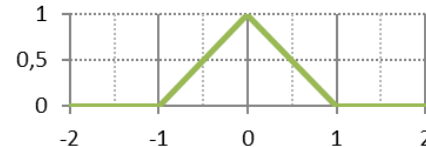
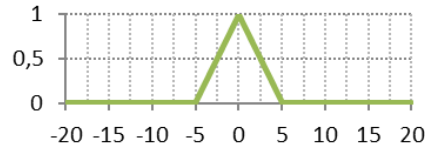
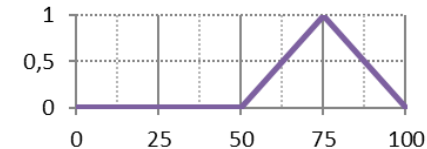
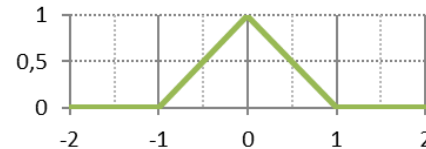
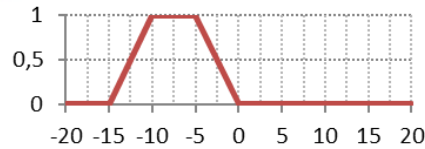
- 2º) Definir variáveis de entrada:
 - Gradiente: $0.6\text{ }^{\circ}\text{C/s}$



Controle *Fuzzy* – exemplo

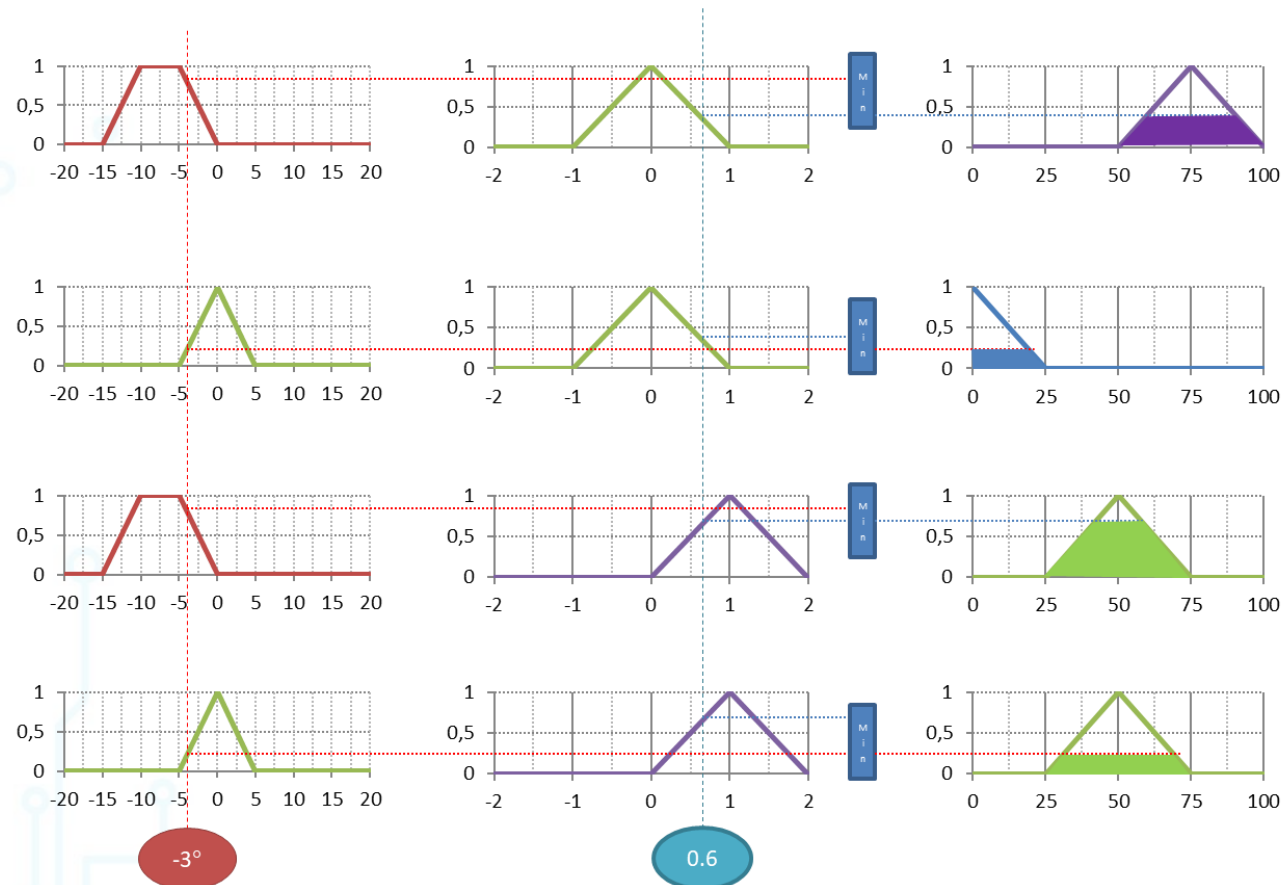
• 3º) base de regras

- Se Δt é baixa e grad. é estável então pwm é grande
- Se Δt é no_setpoint e grad. é estável então pwm é nula
- Se Δt é baixa e grad. é subindo_devagar então pwm é média
- Se Δt é no_setpoint e grad. é subindo_devagar então pwm é nula



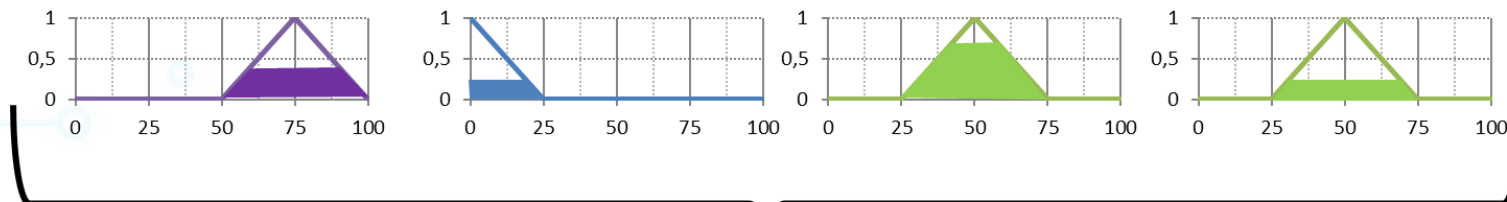
Controle *Fuzzy* – *exemplo*

- 4º) Inferência por mamdani

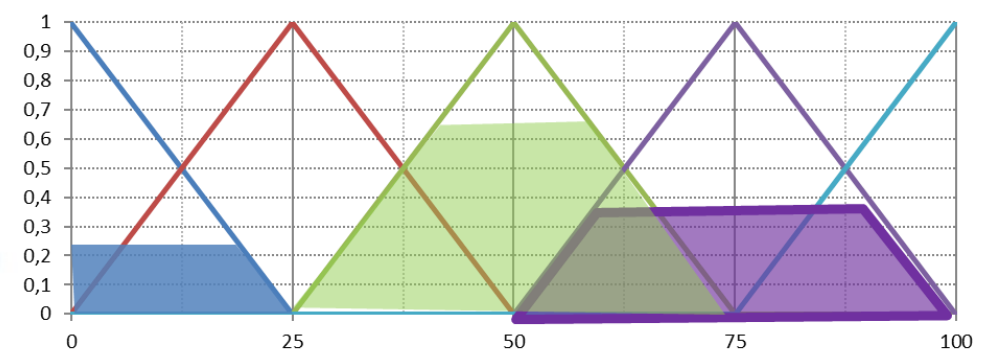


Controle *Fuzzy* – exemplo

- 4º) Inferência por mamdani

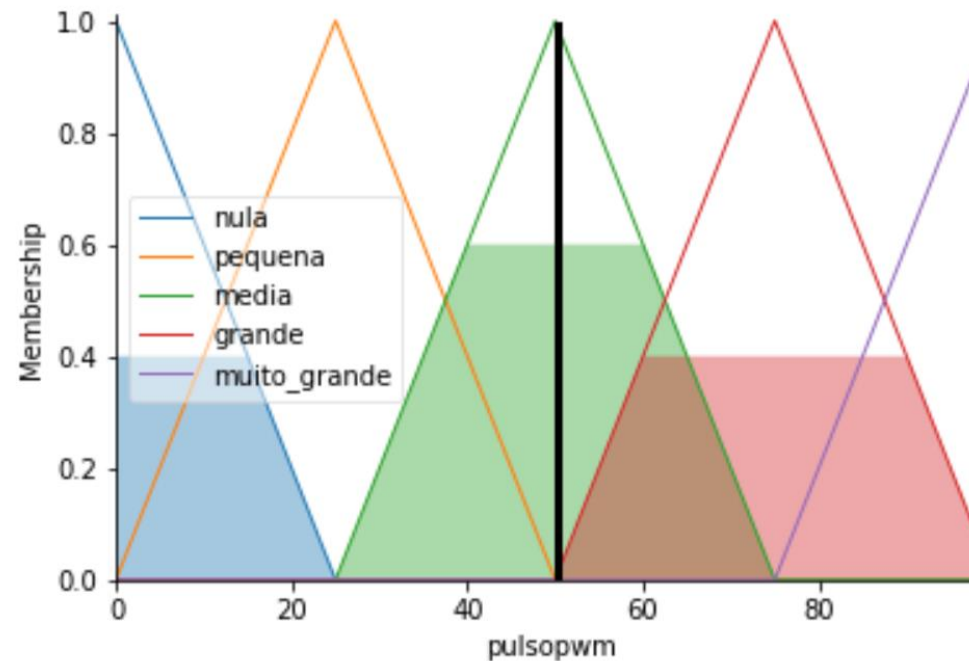


max



Controle *Fuzzy* – exemplo

- 4º) Defuzificação pelo centro de área



Thank you!



@vinicius caridá



@vfcarida



vfcarida@gmail.com



<https://linktr.ee/vfcarida>