

Lógica Fuzzy

Prof. Dr. Peterson Belan
belan@uni9.pro.br

Lógica Fuzzy

A **Lógica Fuzzy** ou **lógica nebulosa** pode ser vista como uma lógica que trata de modelos de raciocínio incerto ou aproximado.

A teoria dos conjuntos fuzzy (difusos) foi **proposta por Lotfi A. Zadeh em 1965**, na Universidade da Califórnia em Berkeley.

Um controle fuzzy tenta “imitar” um operador humano tomando como base uma representação descritiva e experimental de um determinado processo.

Algumas Aplicações



Robótica



Elevadores



Lava-louças



Máquinas de Lavar Roupas



Câmeras Fotográficas
e Processamento
Digital de Imagens



"Rice-Cookers"

Algumas Aplicações



Reconhecimento de Padrões



Cruise Control



Remote Sensing



Softwares que trabalham com as interações de agentes (comportamentos de acordo com o que está em volta).



I, Robot



LOTR - A Soc. Do Anel



LOTR - As Duas Torres



Nárnia

Algumas Aplicações

CONTROLE DE SISTEMA DE METRÔ	O sistema de metrô em Sendai, no Japão, utiliza lógica fuzzy no controle de velocidade da linha Nanboku desde 1988. Por conta deste sistema, esta linha é uma das mais suaves do mundo na aceleração e frenagem, além de ser mais eficiente em termos de consumo de energia;
MEDICINA PREVENTIVA	A Blue Cross Blue Shield of Tennessee utiliza softwares em lógica fuzzy para rodar modelos preditivos que correlacionam mais de 10 mil vidas e mais de 5 mil doenças, a fim de atuar preventivamente em sua rede credenciada;
SEGURADORAS	A empresa Gen Re (ou General Reinsurance Corporation) aplicou a lógica fuzzy para segregar pedidos de reembolso legítimos daqueles tidos como fraudulentos, tendo demonstrado eficiência de 85%;
MARKETING	Um modelo de inferência fuzzy foi criado no intuito de classificar futuros clientes evasivos e, assim, melhor direcionar as campanhas de marketing na abordagem dos clientes corretos;
PREVISÃO DE VENDAS	Através do uso de softwares da empresa Fuzzy Logix, a Tesco, empresa multinacional varejista, realizou o tratamento de dados de 3000 lojas para mais de 5 mil categorias de produtos, de forma rápida e eficaz. Desta forma foi possível prever melhor e em tempo hábil as vendas dos produtos em períodos festivos, por exemplo.

Alguns conceitos sobre Lógica Fuzzy

Diferente da **Lógica Booleana** que admite apenas valores booleanos, ou seja, **verdadeiro** ou **falso**, a **Lógica Fuzzy** permite a representação do raciocínio aproximado (“talvez”). Para tanto, emprega a ideia de pertinência.

Assim, uma pertinência de 0.5 pode representar meio verdade (talvez), enquanto 0.9 e 0.1, representam quase verdade e quase falso, respectivamente.

Em outras palavras, enquanto na **Lógica Booleana** algo **pertence ou não a um conjunto**, na **Lógica Fuzzy** algo pode **pertencer a um ou mais conjuntos com diferentes graus de pertinências**.

Computação com palavras

Em seu sentido tradicional, computar envolve a manipulação de números e símbolos. No entanto, os seres humanos empregam, em geral, palavras na computação e no raciocínio, chegando à conclusões expressas também com palavras, a partir das premissas expressas em linguagem natural ou tendo a forma de percepções mentais.

Essa ideia é abstraída para a Lógica Fuzzy, na qual as regras são formuladas por meio de palavras. Daí o uso do termo “Computação com Palavras”.

Alguns elementos da Lógica Fuzzy

- Variável Lingüística
- Partição nebulosa
- Conjunto Nebuloso
- Graus de pertinência
- Operações com conjuntos Fuzzy
- Regras de Inferência Fuzzy
- Estágios de um controlador Fuzzy

Variável Lingüística

É uma variável cujos valores são definidos em termos lingüísticos. Formalmente, uma variável lingüística é caracterizada por uma quintupla $\{\mathbf{V}, \mathbf{T}(\mathbf{V}), \mathbf{X}, \mathbf{G}, \mathbf{M}\}$, onde \mathbf{V} é o nome da variável lingüística (Ex. temperatura); $\mathbf{T}(\mathbf{V})$ é o conjunto de termos lingüísticos (Ex. baixa, média, alta); \mathbf{X} é o universo de discurso (Ex. 0 a 100° C); \mathbf{G} é a regra sintática para gerar os termos; e \mathbf{M} é uma regra semântica que define o significado de cada termo. Esses dois últimos elementos (\mathbf{G} e \mathbf{M}) não são imprescindíveis para modelagem de um sistema fuzzy.

Partição nebulosa

Uma partição nebulosa determina **quantos termos** lingüísticos **T(V)** estão associados à uma variável lingüística.

Exemplos:

$V = \text{pressão}; T(V) = \{ \text{alta, média, baixa} \}$ (**3 termos**).

$V = \text{volume_de_água}; T(V) = \{ \text{muito, pouco} \}$ (**2 termos**).

$V = \text{tom_de_cinza}; T(V) = \{ \text{claro, médio, escuro} \}$ (**3 termos**).

$V = \text{giro_volante_carro}; T(V) = \{ \text{Muito_à_esquerda, Esquerda, Mantém, Direita, Muito_à_direita} \}$ (**5 termos**).

Para cada **termo** deve ser modelado um **conjunto fuzzy**

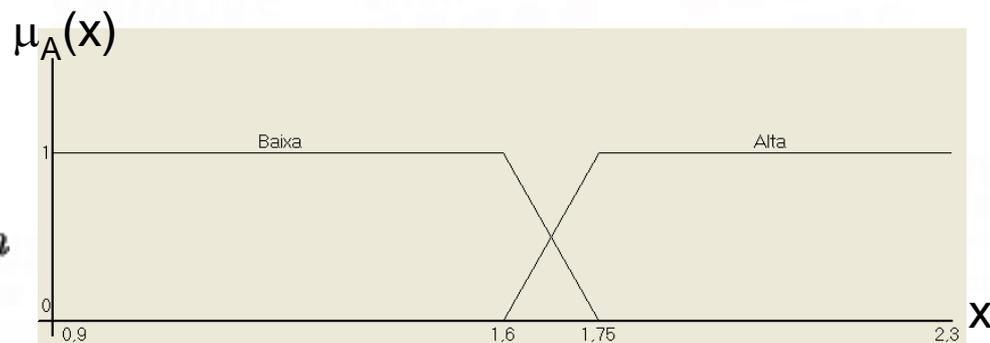
Conjuntos Fuzzy e Graus de Pertinência

Um conjunto fuzzy A em X é caracterizado por uma função de pertinência $\mu_A(x)$ que associa cada ponto $x \in X$ a um número real no intervalo $[0,1]$, representando o grau de pertinência de x em A .

Assim, quanto mais próximo de 1 for a função de pertinência $\mu_A(x)$, maior é o grau de pertinência de x em A ($\mu_A: X \rightarrow [0,1]$). Na Lógica Booleana, $\mu_A(x)=0$ ou 1, conforme x pertencer ou não a A ($\mu_A: X \rightarrow \{0,1\}$).

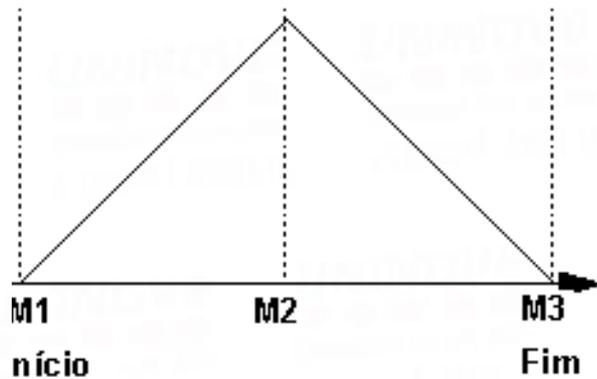
Por exemplo, considere $V = \text{estatura_de_pessoas}$; $T(V) = \{\text{Alta (A), Baixa (B)}\}$, $X = [0,9 ; 2,3]$

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & x > 1,75m \\ 0 & x < 1,60m \\ \frac{x-1,6}{0,15} & 1,60m \leq x \leq 1,75m \end{cases}$$

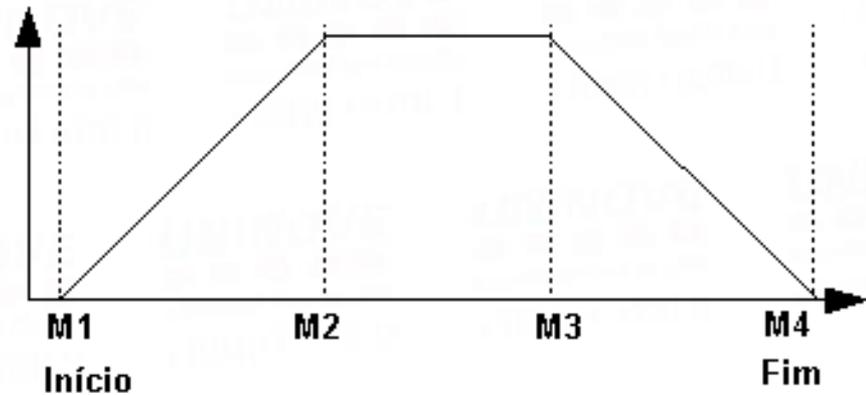


Conjuntos Fuzzy e Graus de Pertinência (funções mais comuns)

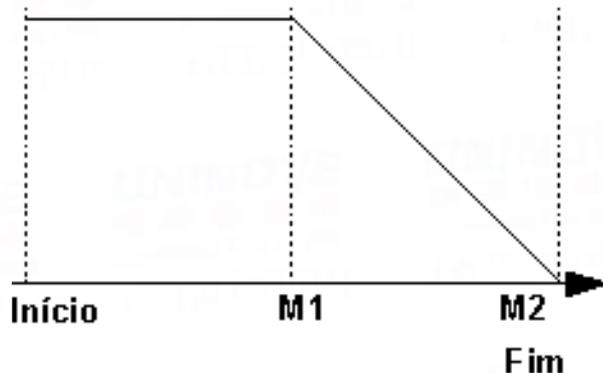
TFN - Triangular Fuzzy Number



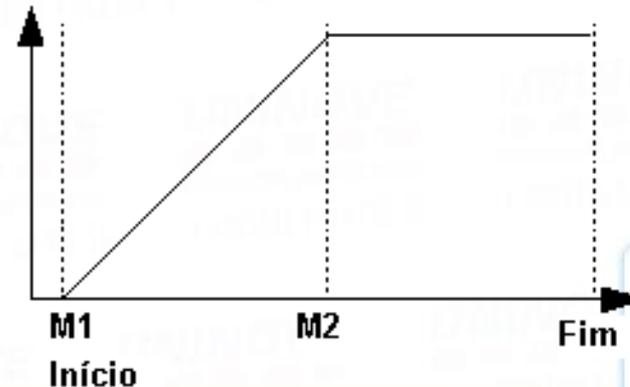
FFN - Flat Fuzzy Number



RFN - Right Fuzzy Number

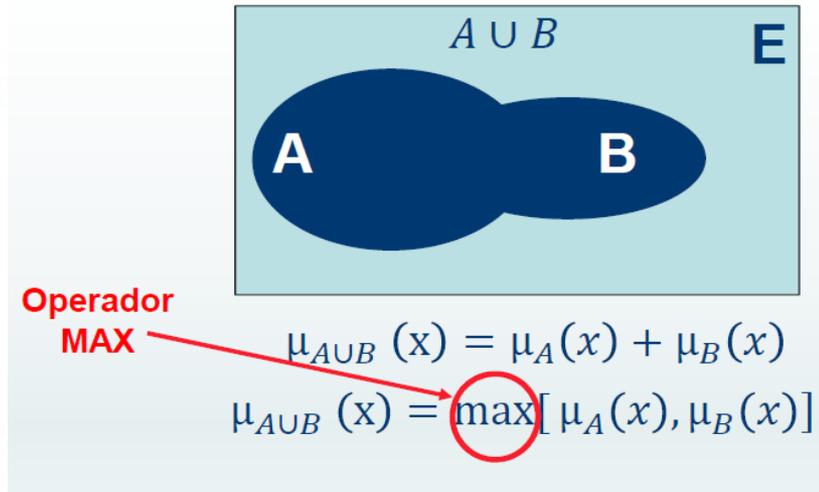


LFN - Left Fuzzy Number

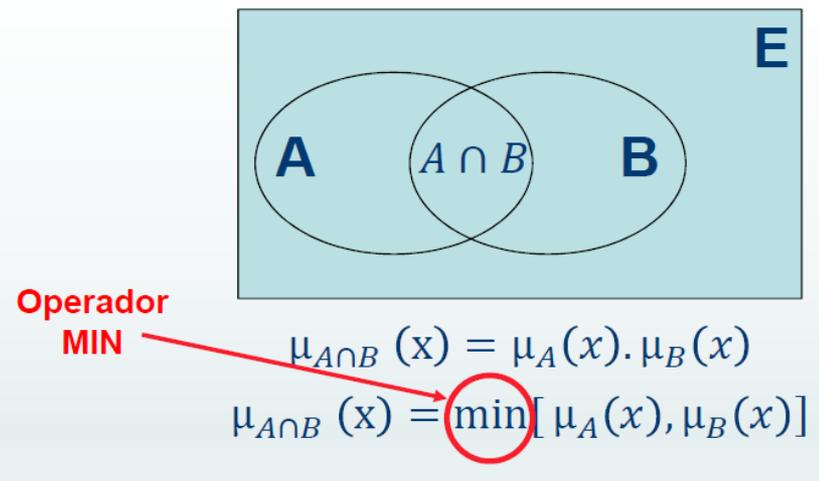


Operações com conjuntos Fuzzy

União (\cup) de dois conjuntos fuzzy **A** e **B**



Intersecção (\cap) de dois conjuntos fuzzy **A** e **B**



Regras de Inferência Fuzzy

São regras do tipo **SE...ENTÃO (IF...THEN)** para representar o conhecimento acerca de um problema por meio de palavras (**aqui está o cerne da “Computação com Palavras”**).

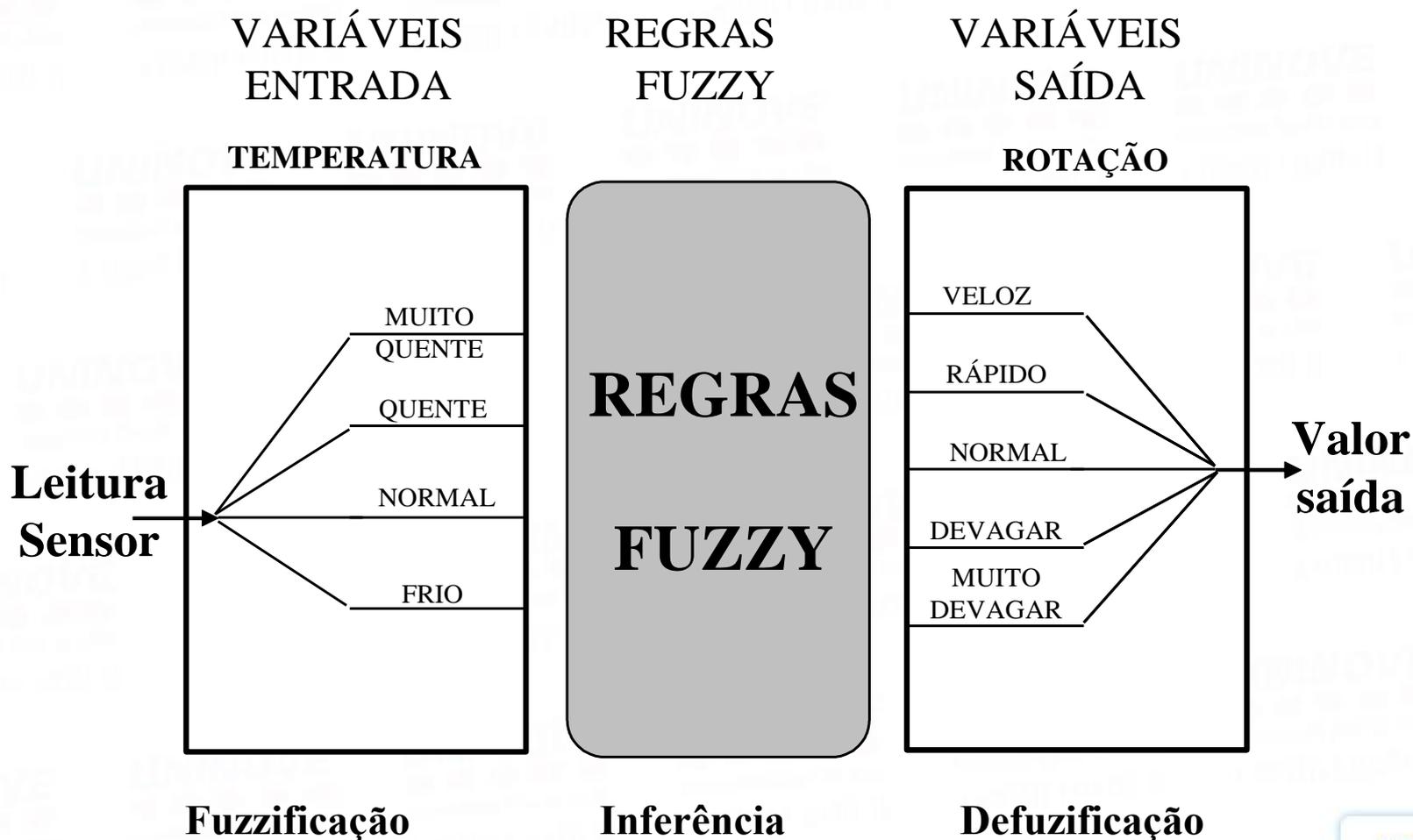
Exemplo:

Conjunto fuzzy

SE o trânsito está **PESADO** na RUA#2 ENTÃO mantenha o semáforo verde **MAIS TEMPO ACESO**

Conjunto fuzzy

Estágios de um controlador Fuzzy



Estágios de um controlador Fuzzy

Fuzzificação:

Faz a conversão do valor fixo de entrada em graus de pertinência considerando os conjuntos fuzzy associados à variável

Inferência:

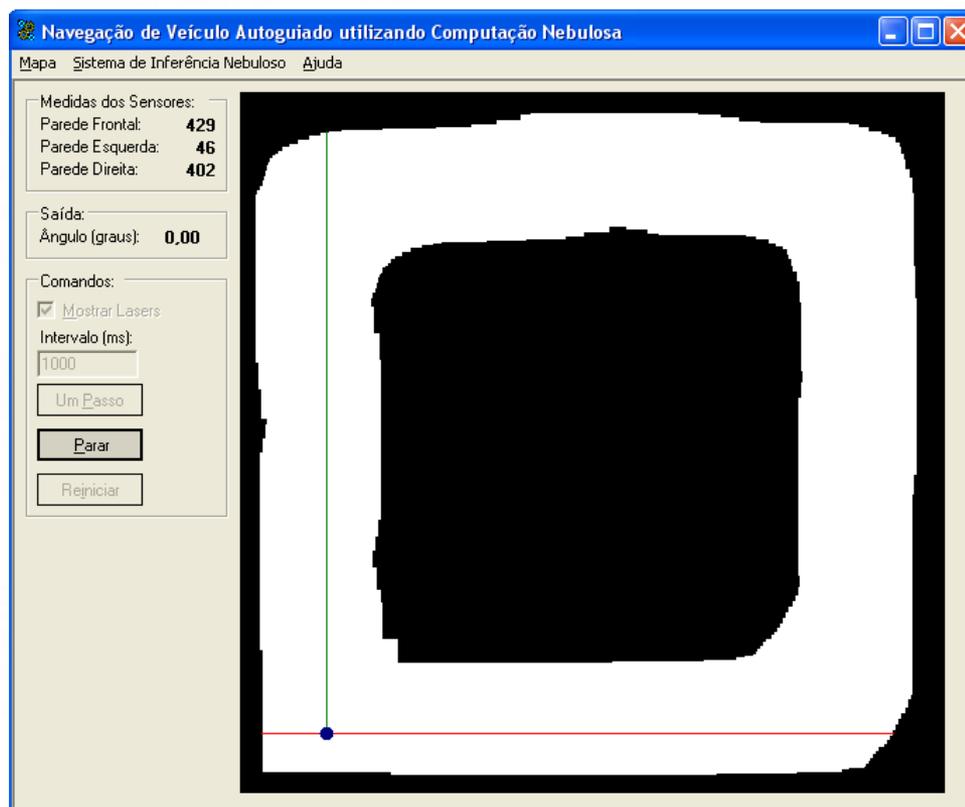
Consiste na aplicação das regras fuzzy considerando os operadores (união e interseção)

Defuzzificação:

Conversão dos graus de pertinência resultantes em valores fixos

Exercício - Controlador Fuzzy para guiar um “veículo autônomo”

Objetivo: modelar um Sistema de Inferência Fuzzy que simula a movimentação de um veículo autoguiado, o **FuzzyRobot**, desenvolvido pelo Laboratório de Engenharia de Conhecimento da POLI/USP (https://drive.google.com/drive/folders/1bLXZTFGvazdSfTmdaHy9dmPB6SIKj9C_?usp=sharing).



Exercício - Controlador Fuzzy para guiar um “veículo autônomo”

Como fazer a Modelagem do Sistema de Inferência Fuzzy para movimentar o **FuzzyRobot**?

- Definição das variáveis linguísticas (Entrada e Saída) e suas partições
- Modelagem dos conjuntos Fuzzy associados à cada variável
- Definição das regras de inferência fuzzy
- Associação das variáveis do sistema de inferência fuzzy modelado com as variáveis internas do FuzzyRobot

Definição das variáveis linguísticas e suas partições

Como pode ser percebido no **Fuzzy Robot**, as **variáveis lingüísticas de entrada** são:

- Distância Frontal – DF (Parede frontal)
- Distância Lateral Esquerda – DLE (Parede esquerda)
- Distância Lateral Direita – DLD (Parede direita)

Os valores destas variáveis são obtidos por meio de “sensores” posicionados no veículo.

Já a **variável lingüística de saída** é o Ângulo da Direção – DIR (Ângulo - graus) que será utilizada pelo atuador durante a movimentação do veículo autoguiado.

Definição das variáveis linguísticas e suas partições

Para as **variáveis linguísticas** Distância Frontal, Distância Lateral Esquerda e Distância Lateral Direita podemos usar uma modelagem muito parecida, ou seja:

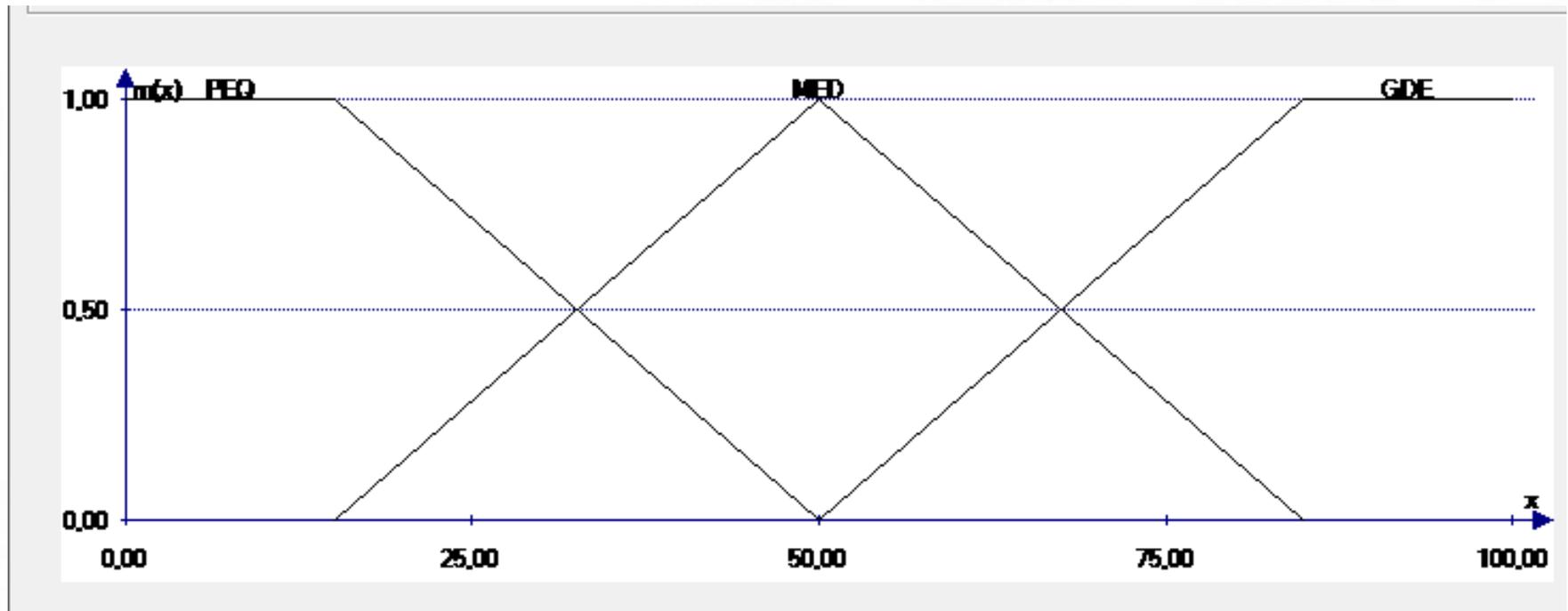
- $V = \text{“DF”}$; $T(V) = \{\text{PEQ, MED, GDE}\}$; $X = [0, 100]$
- $V = \text{“DLE”}$; $T(V) = \{\text{PEQ, MED, GDE}\}$; $X = [0, 100]$
- $V = \text{“DLD”}$; $T(V) = \{\text{PEQ, MED, GDE}\}$; $X = [0, 100]$

Etiquetas Linguísticas:

	Nome	∠	Tipo	Início	Fim	M1	M2	M3	M4
▶	GDE		LFN	0	100	50	85	0	0
	MED		TFN	0	100	15	50	85	0
	PEQ		RFN	0	100	15	50	0	0

Definição das variáveis linguísticas e suas partições

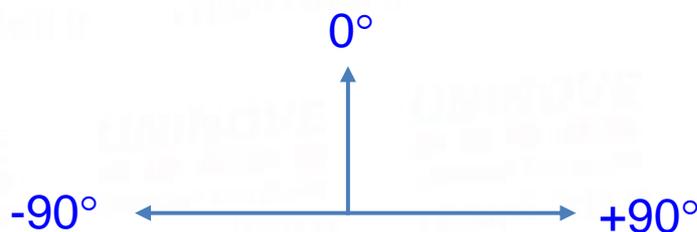
- DF, DLE, DLD



Definição das variáveis linguísticas e suas partições

Para a **variável** Ângulo da Direção a modelagem é a seguinte:

- $V = \text{"DIR"}; T(V) = \{\text{MESQ, ESQ, MANTEM, DIR, MDIR}\}; X = [-90, +90]$

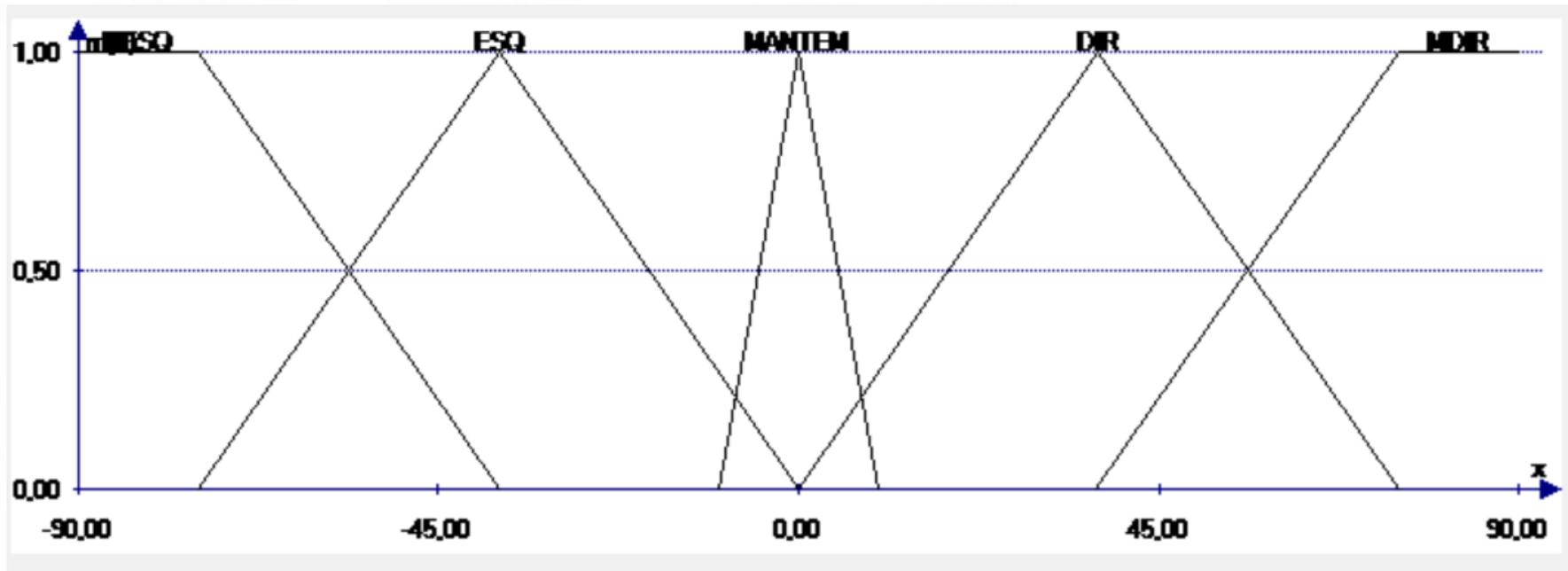


Etiquetas Linguísticas:

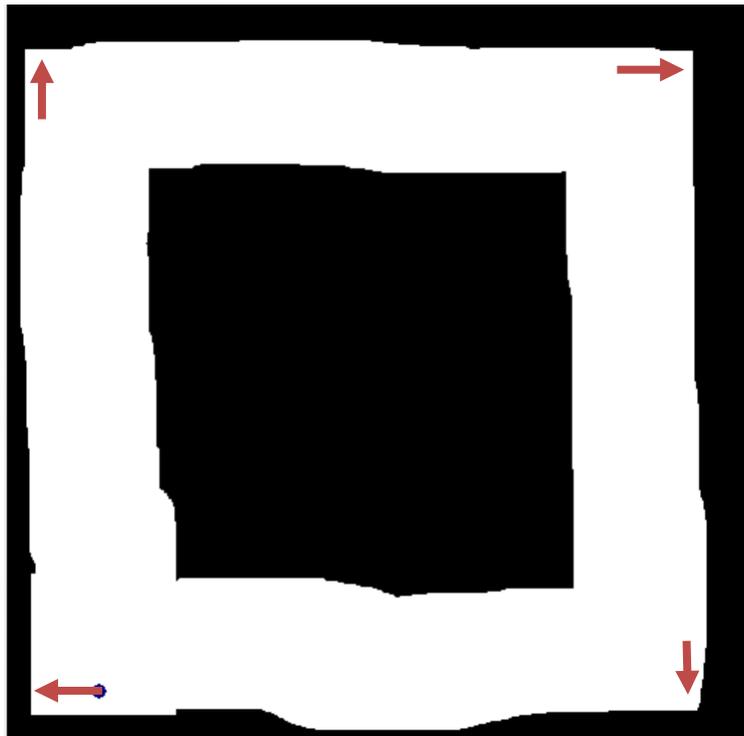
	Nome	Δ	Tipo	Início	Fim	M1	M2	M3	M4
▶	DIR		TFN	-90	90	0	37,5	75	0
	ESQ		TFN	-90	90	-75	-37,5	0	0
	MANTEM		TFN	-90	90	-10	0	10	0
	MDIR		LFN	-90	90	37	75	0	0
	MESQ		RFN	-90	90	-75	-37,5	0	0

Definição das variáveis linguísticas e suas partições

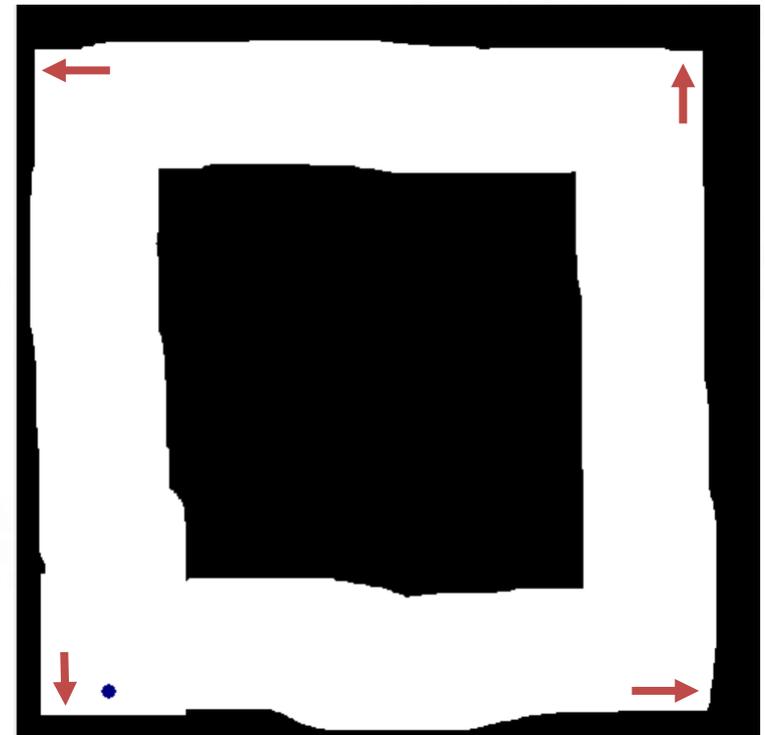
- DIR



Regras de Inferência Fuzzy raciocínio...

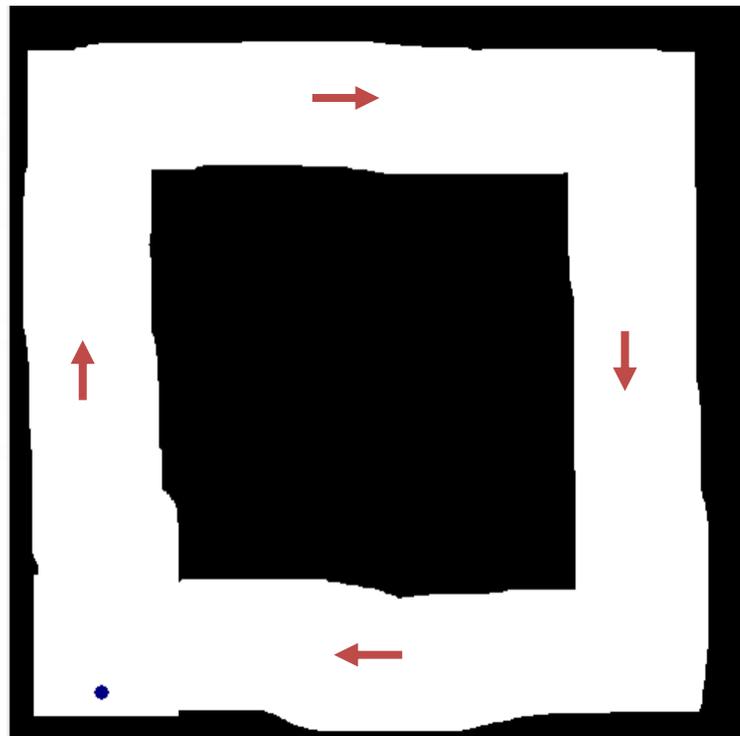


(Regra 1)



(Regra 2)

Regras de Inferência Fuzzy raciocínio...



(Regra 3)

Regras de Inferência Fuzzy

- Regra 1 (R1)

SE DF IS PEQ AND DLE IS PEQ ENTÃO DIRECAO IS MDIR

- Regra 2 (R2)

SE DF IS PEQ AND DLD IS PEQ ENTÃO DIRECAO IS MESQ

- Regra 3 (R3)

**SE DF IS GDE AND DLD IS MED AND DLE IS MED
ENTÃO DIRECAO IS MANTEM**

Referências bibliográficas

- LEE, C. C., "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy logic Controller - Part I", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, V 01. 20, n° 2, pp. 404-418, March/ April 1990.
- ZADEH, L. A. "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes", IEEE Transactions on System, Man and Cybemetics, Vol. 3, pp. 2844, 1973.
- <https://www.flr.io/>