

# Controlador fuzzy de tráfego usando R

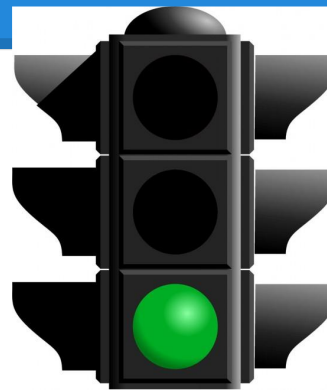
Nilton Vasques

Victor Costa

Universidade Federal da Bahia

Lab. Inteligência Artificial

Profa. Tatiane Nogueira



# Problema

- As mudanças ocorridas em nossa sociedade nos últimos anos com o crescimento populacional e o aumento do número de veículos em vias públicas trouxeram problemas como o tráfego intenso e congestionamentos de trânsito.
- Diariamente perde-se muito tempo em cruzamentos e paradas
  - Solução: Um controlador Fuzzy para semáforos.

# Evolução da base de dados

- PRIMEIRO MODELO
  - Antecedente
    - TAXA DE FLUXO DE VEÍCULOS
    - MOVIMENTO DE PEDESTRES
  - Consequente
    - TEMPO DO SINAL VERDE



&

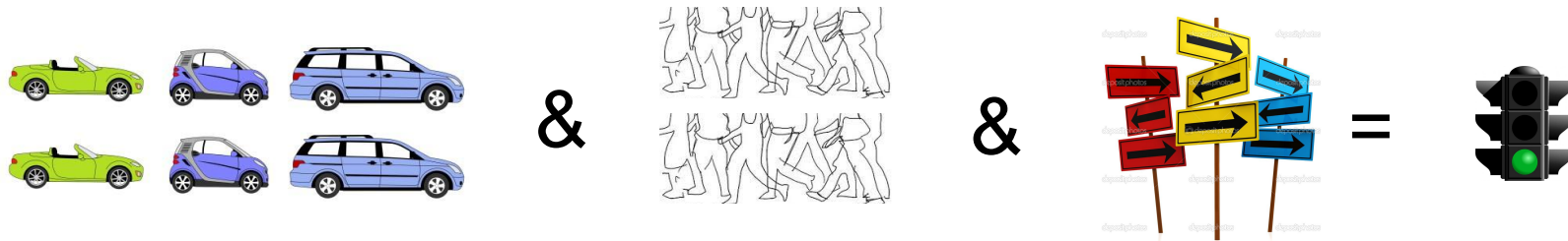


=



# Evolução da base de dados

- SEGUNDO MODELO
  - Antecedente
    - TAXA DE FLUXO DE VEÍCULOS [ Arrays ]
    - MOVIMENTO DE PEDESTRES [ Arrays ]
    - NÚMERO DE VIAS
  - Consequente
    - TEMPO DO SINAL VERDE



# Evolução da base de dados

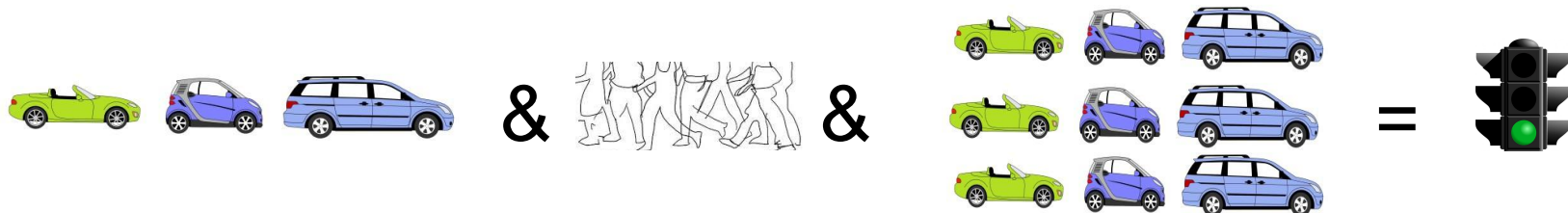
- TERCEIRO MODELO ( FINAL )

- Antecedente

- TAXA DE FLUXO DE VEÍCULOS VIA CORRENTE
    - MOVIMENTO DE PEDESTRES VIA CORRENTE
    - QUANTIDADE DE VEÍCULOS NAS FILAS DAS OUTRAS VIAS

- Consequente

- TEMPO DE SINAL VERDE



# Como a base foi construída?

- Granularizações das variáveis
  - FLUXO -> Muito Baixo, Baixo, Médio, Intenso, Muito Intenso.
  - QTD\_PEDESTRES -> Muito Pouca, Pouca, Razoável, Muita, Extrema.
  - TAMANHO\_FILA -> Muito Pequeno, Pequeno, Médio, Grande, Muito Grande.
  - TEMPO\_VERDE -> Muito Rápido, Rápido, Tempo Médio, Demorado, Muito Demorado.

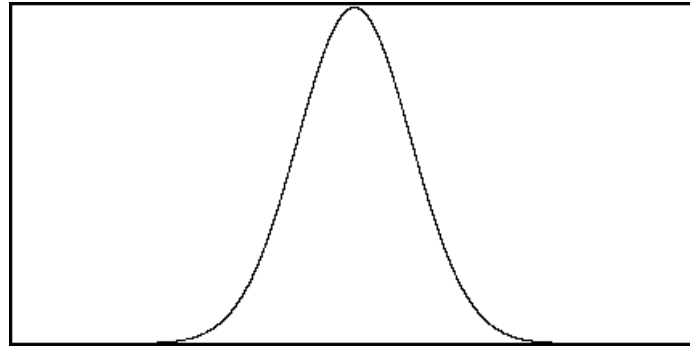
■ Todas com 5 Conjuntos Fuzzy

# Classe Majoritária

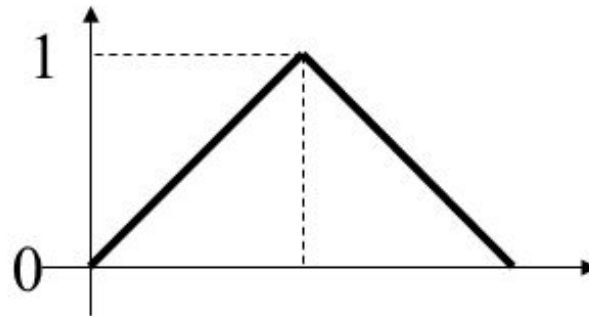
- Classes majoritárias
  - TEMPO\_VERDE = 0 (23 exemplos)
  - TEMPO\_VERDE = 150 (23 exemplos)

# Função de Pertinencia

- WM e HyFIS
  - Gaussiano



- DENFIS
  - Triangular





# Modelo de inferencia do Sistema Fuzzy

- WM e HyFIS
  - Mamdani
    - Mais próximo da lógica humana.
    - Termos linguísticos. ( baixo, médio e alto )
    - Utilizado anteriormente por Mamdani e Papis (1977) em controladores de tráfego.

# Modelo de inferencia do Sistema Fuzzy

- DENFIS
  - Takagi-Sugeno-Kang

SE  $x_1$  é  $R_{11}$  e ... e  $x_q$  é  $R_{1q}$  ENTÃO  $y_1$  é  $f_1(x_1, \dots, x_q)$

SE  $x_1$  é  $R_{21}$  e ... e  $x_q$  é  $R_{2q}$  ENTÃO  $y_2$  é  $f_2(x_1, \dots, x_q)$

...

SE  $x_1$  é  $R_{m1}$  e ... e  $x_q$  é  $R_{mq}$  ENTÃO  $y_m$  é  $f_m(x_1, \dots, x_q)$

# Algoritmos de geração de regras

- WM
  - É usado para resolver problemas de regressão.
  - Utiliza o modelo Mamdani.
  - Baseado na partição do espaço.
  - Criadores: L. X. Wang e J. M. Mendel.

# Algoritmos de geração de regras

- WM - Algoritmo
  - **Passo 1** - Calcula-se, os graus das funções de pertinência para todos os valores no conjunto treinamento.
  - **Passo 2** - Depois, particiona as variáveis linguísticas em conjuntos fuzzys de mesmo tamanho.
  - **Passo 3** - Calcula a relevância das regras agregando as funções de pertinência no antecedente e consequente de acordo com a t-norma que foi adotada.

# Algoritmos de geração de regras

- WM - Algoritmo
  - **Passo 4** - Obtém o conjunto de regras final removendo regras redundantes. Considerando os graus de relevancia das regras, nós podemos remover as regras que possuem menor grau.
  - **Saída** - Modelo Mamdani
  - **Workflow** - Fusificação -> Checagem de regras -> Inferência -> Defuzificação

# Algoritmos de geração de regras

- HyFIS

- Utiliza redes neurais.
- Problemas de regressão.
- Utiliza o modelo Mamdani.
- Criadores: J. Kim e N. Kasabov
- Modularizado em duas partes:
  - Aquisição de Conhecimento
  - Aprendizagem de estruturas e parâmetros

# Algoritmos de geração de regras

- HyFIS
- Aquisição de Conhecimento
  - Usa a técnica de Wang e Mendel (WM).

# Algoritmos de geração de regras

- HyFIS
- Aprendizagem de estruturas e parâmetros
  - Utiliza a função de pertinência gaussiana por padrão.
  - É um método de aprendizagem supervisionada que utiliza algoritmos de aprendizagem baseados em gradiente descendente ( Cálculo de mínimos locais [1]).



# Algoritmos de geração de regras

- DENFIS

- Dynamic Evolving Neural-Fuzzy Inference System
- Utilizado para resolver problemas de regressão.
- Função de Pertinência Triangular
- Uma vez que o controlador é do tipo Takagi-Sugeno-Kang, não é necessária a etapa de defuzzificação, pois a saída não se dá na forma de funções de pertinência, e sim de equações lineares, chamadas de funções sugeno de saída.

# Algoritmos de geração de regras

- DENFIS

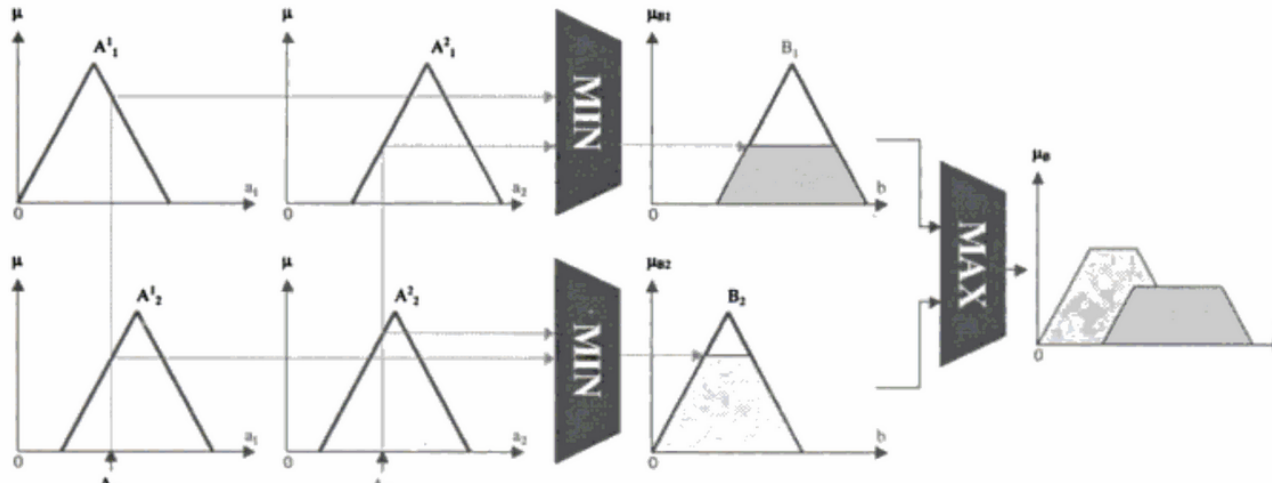
- Takagi-Sugeno-Kang.
- Utiliza ECM ( Clusterização Evolutiva )
- Baseado na partição iterativa do espaço de entrada em sub-conjuntos ( clusters )[8].
- Os centros dos clusters ECM formam o antecedente de regras fuzzy
- Criadores: Kasabov and Song, 2002

# Escolha das t-normas e s-normas

- t-norma adotada (e)
  - MIN
- s-norma adotada (ou)
  - MAX

# Escolha da implicação

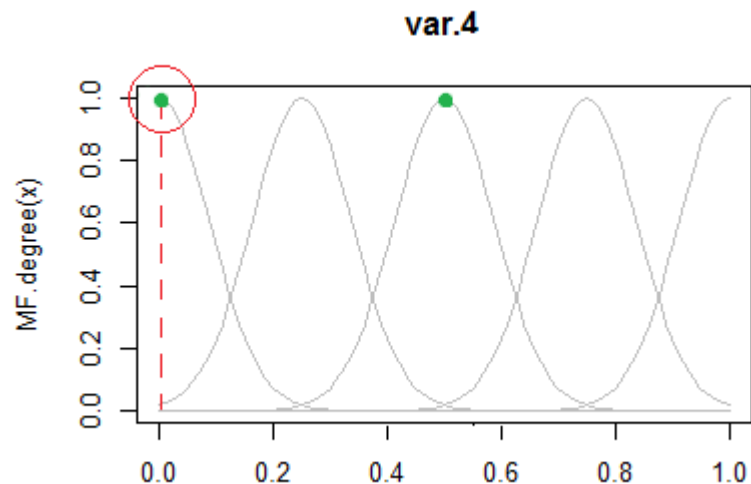
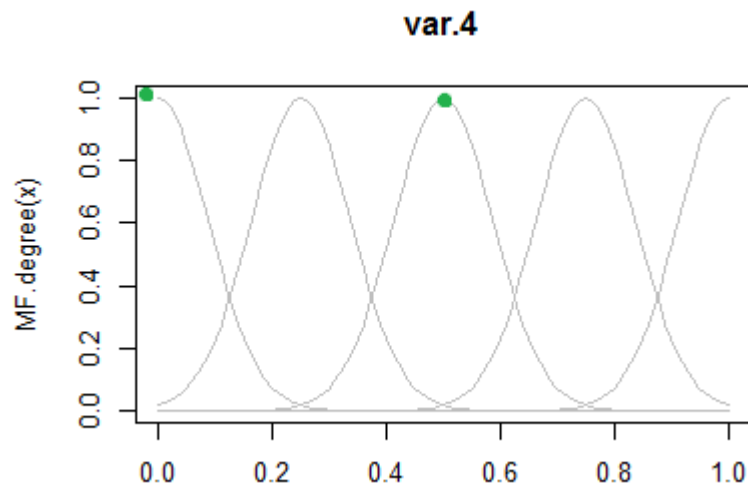
- **Min** ( Dado N regras de entrada, a inferência será os mínimos de cada regra)
  - $a < b ? a : b$



# Defuzzificação

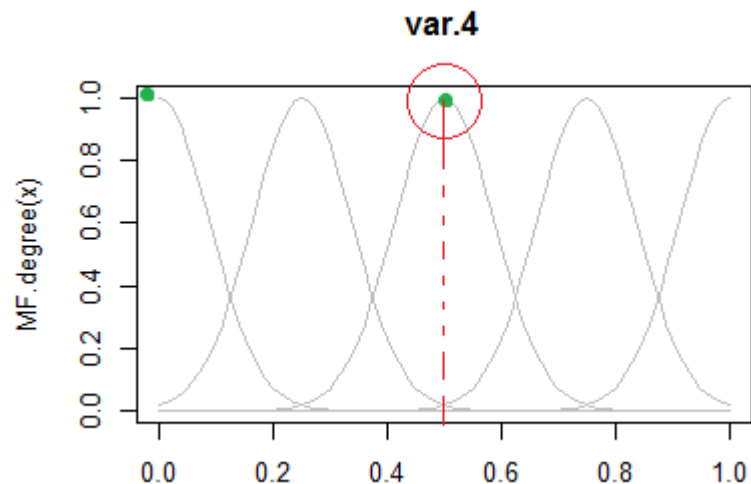
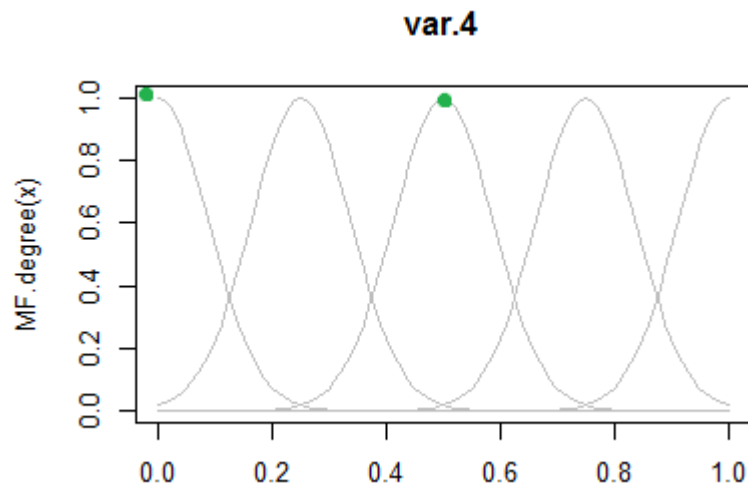
- **FIRST.MAX**

- $\text{Min}(\text{Max}(X_a))$
- $X_a$  = o grau de pertinência do consequente.



# Defuzzificação

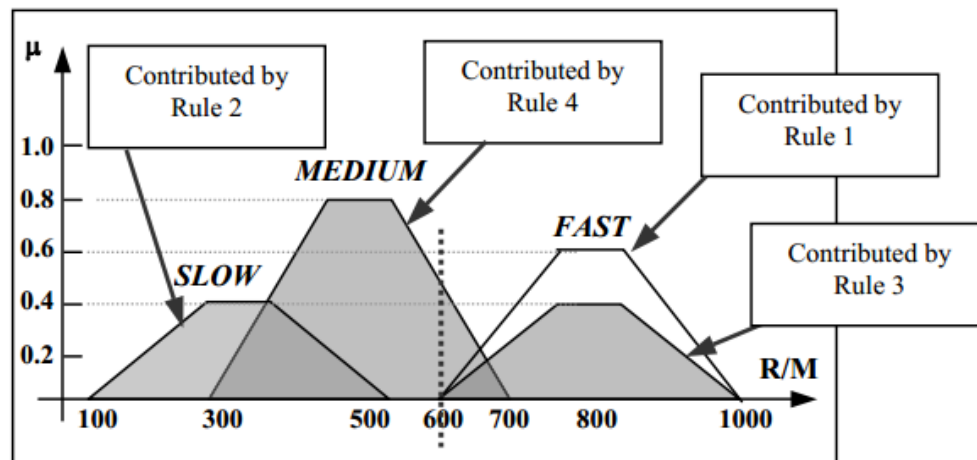
- LAST.MAX
  - $\text{Max}(\text{Max}(X_a))$
  - $X_a$  = o grau de pertinência do consequente.



# Defuzzificação

## COG

- “The most prevalent and physically appealing of all the defuzzification methods [Sugeno, 1985; Lee, 1990]”
- Alta Complexidade!  
É um dos métodos que mais requerem recursos computacionais.



# Resultados - MSE (Erro Quadrado Médio)

WM+COG	0.05071358 ( ~5% )
WM+FIRST.MAX	0.07145481 ( ~7% )
WM+LAST.MAX	0.1159737 ( ~12% )
HyFIS+FIRST.MAX	0.0738587 ( ~7% )
HyFIS+LAST.MAX	0.1159737 ( ~12% )
DENFIS+COG	0.03334778 ( ~3% )



# Resultados - RMSE ( Raiz do Erro Quadrado Médio )

WM+COG	0.22519676
WM+FIRST.MAX	0.26731033
WM+LAST.MAX	0.3405491
HyFIS+FIRST.MAX	0.2717696
HyFIS+LAST.MAX	0.3405491
DENFIS+COG	0.18261375

# Predict

## DENFIS+COG

	[,1]	[,2]			
[1,]	29	150	[56,]	10	0
[2,]	59	150	[57,]	11	0
[3,]	110	150	[58,]	9	0
[4,]	132	150	[59,]	10	0
[5,]	150	150	[60,]	24	0
[14,]	126	150	[61,]	61	70
[15,]	141	150	[62,]	63	65
[16,]	149	150	[64,]	69	55
[17,]	26	0	[65,]	73	50
[18,]	28	0	[67,]	0	50
[21,]	38	0	[68,]	22	50
[22,]	0	0	[74,]	31	50
[23,]	0	0	[75,]	28	50
[24,]	15	0	[81,]	38	50
[25,]	19	0	[82,]	60	115
[45,]	15	0	[93,]	36	50
[46,]	19	0	[94,]	35	50
[47,]	24	0	[104,]	84	98
[48,]	32	0	[105,]	112	150
[49,]	28	0	[106,]	150	150
[53,]	13	0	[111,]	140	150
[54,]	9	0	[118,]	119	100
[55,]	8	0	[119,]	139	100
			[120,]	150	100

## WM+FIRST.MAX

	[,1]	[,2]			
[1,]	0	150	[100,]	0	10
[2,]	0	150	[101,]	0	15
[15,]	132	150	[102,]	0	20
[16,]	141	150	[103,]	0	56
[17,]	0	0	[104,]	0	98
[52,]	0	0	[105,]	132	150
[53,]	0	0	[106,]	150	150
[54,]	0	0	[107,]	132	150
[59,]	0	0	[108,]	150	150
[60,]	0	0	[109,]	132	150
[61,]	0	70	[110,]	150	150
[73,]	0	50	[111,]	132	150
[74,]	0	50	[112,]	150	150
[75,]	0	50	[113,]	132	100
[76,]	0	50	[114,]	144	100
[81,]	0	50	[115,]	132	100
[82,]	0	115	[116,]	144	100
[97,]	0	50	[117,]	132	100
[98,]	0	50	[118,]	144	100
[99,]	0	50	[119,]	132	100
			[120,]	144	100

## HyFIS+FIRST.MAX

	[,1]	[,2]			
[1,]	0	150	[100,]	0	10
[2,]	0	150	[101,]	0	15
[3,]	110	150	[102,]	0	20
[14,]	130	150	[103,]	0	56
[15,]	110	150	[104,]	0	98
[16,]	130	150	[105,]	110	150
[17,]	0	0	[114,]	136	100
[50,]	0	0	[115,]	110	100
[51,]	0	0	[116,]	136	100
[52,]	0	0	[117,]	110	100
[57,]	0	0	[118,]	136	100
[58,]	0	0	[119,]	110	100
[59,]	0	0	[120,]	136	100
[60,]	0	0			
[61,]	0	70			
[75,]	0	50			
[76,]	0	50			
[87,]	0	50			

# Justificativa Resultados

- Considerando os resultados obtidos, concluimos que o algoritmo de geração de regras “DENFIS” utilizando o método de defuzzificação “COG” é o mais apropriado para o nosso domínio.
- O algoritmo DENFIS é considerado, pela literatura, como um ótimo algoritmo para tratar séries temporais [6].

# Justificativa Resultados

- Os resultados não satisfatórios, obtidos com os métodos de defuzzificação FIRST.MAX e LAST.MAX, são causados pela maximização e minimização dos outputs. ( Tempo verde, 0 ou 75 )
- COG é o método mais adequado e mais amplamente utilizado pela literatura[4].
- Foi o método de defuzzificação mais adequado por ponderar os consequentes, fornecendo saídas crescentes e decrescentes.

# Justificativa Resultados

- O algoritmo DENFIS obteve resultados mais satisfatórios do que os algoritmos WM e HyFIS, pelo fato de ter utilizado o modelo de Takagi-Sugeno-Kang também.
  - Motivo: O foco de um modelo TSK é em exatidão/precisão ao contrário do modelo Mamdani, que é na interpretação[7].

# Trabalhos futuros

- Estudar o desempenho do modelo de Takagi-Sugeno-Kang sobre os demais métodos de geração de regras, por conta da sua acurácia.

# Código

<https://github.com/niltonvasques/traffic-control-r>



# Bibliografia

- [1]-<http://mtm.ufsc.br/~azeredo/calculos/3Acalculo/0/modulo2/graddescendente1.html>
- [2] - CONTROLADOR FUZZY DE SEMÁFOROS (K. CRYSTIANE, M. GUSTAVO, T. WALTER)
- [3] - Aplicação Da Lógica Fuzzy Em Software E Hardware By LEO WEBER, PEDRO ANTONIO TRIERWEILER KLEIN
- [4] - OTIMIZAÇÃO DE UM FUZZY-PI PARA O CONTROLE DO NÍVEL DE PH UTILIZANDO PSO E AG (ALCEMY G. V. SEVERINO, ANDRÉ H. M. PIRES, LEANDRO L. S. LINHARES, FÁBIO M. U. ARAÚJO)
- [5] - <http://gc.nuaa.edu.cn/cse/fmc/download/Lecture05-Defuzzification.pdf>
- [6] - Evolving Connectionist Systems: Methods and Applications in Bioinformatics; By Nikola K. Kasabov
- [7] - A New Algorithm to Model Highly Nonlinear System based Coactive Neuro Fuzzy Inference System (Tharwat O. S. Hanafy)
- [8] - Redes Neuro-Fuzzy Evolutivas Embarcadas em Sistemas Microcontrolados; Mendes, I; Costa, P; Bergo, L; Leite, D.



# Dúvidas



**Obrigado!**