

Sistemas de Inferência Fuzzy

Profa. Larissa Rocha

Objetivos e Tópicos

- Objetivo

- Compreender os conceitos de conjuntos fuzzy e lógica fuzzy e o seu uso em sistemas de inferência fuzzy

- Tópicos

- Introdução
- Conjuntos Fuzzy
- Lógica Fuzzy
- Sistemas de Inferência Fuzzy
- Implementação

Introdução

O que são
Sistemas de
Inferência Fuzzy?

Sistemas de Inferência Fuzzy

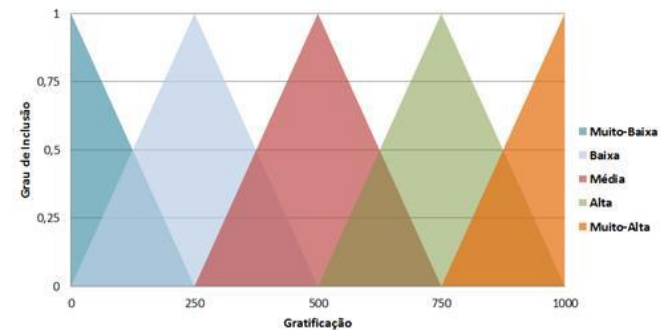
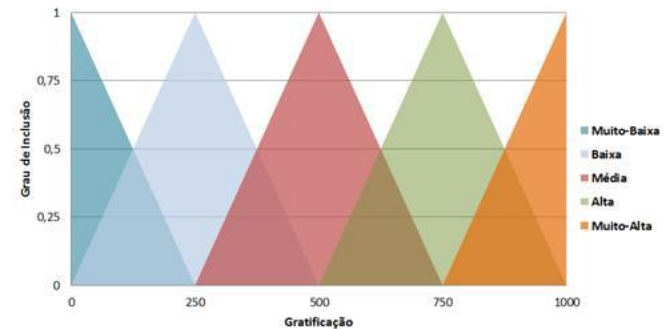
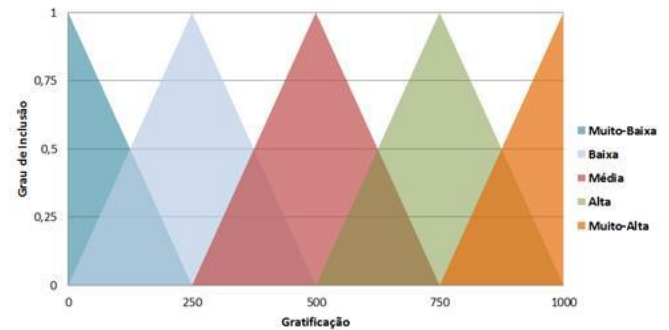
- São sistemas que se utilizam **da teoria de conjuntos fuzzy** e de **lógica fuzzy** para calcular regras lógicas sobre algum fenômeno, sobretudo com o **trato de informações imprecisas e incertas**
- Três conceitos são importantes para a compreensão
 - Conjunto Fuzzy
 - Lógica Fuzzy
 - Sistema Fuzzy
- Conceito de Fuzzy
 - Fuzzy do inglês, significa **Nebuloso**
 - Justamente relacionado com a ideia e **imprecisão e incerteza**

Sistemas de Inferência Fuzzy

- *O que é lidar com imprecisão e incerteza e daí inferir/concluir algo?*
- *Exemplo 1: Amanhã vai chover?*
 - Se o dia for **úmido**, a **temperatura** for **baixa** e a **pressão** for **média** a **chance de chover é alta**?
 - Mas o que é dia úmido? O que é temperatura baixa? E chance alta?
- *Exemplo 2: Ligar o ar condicionado?*
 - Em uma sala alguém afirma que a sala está quente e que talvez seja bom ligar o ar condicionado.
 - a) Esta informação de temperatura é precisa? Quantos graus?
 - b) Você precisou confirmar com ela a temperatura da sala?
- *Exemplo 3: Jantar*
 - Em um jantar você comenta que o jantar está delicioso, só falta um pouco mais de sal.
 - É necessário estabelecer a nota para o jantar, ou delicioso já qualifica?
 - O pouco de sal precisou ser dimensionado em gramas com uma balança?

Conjuntos Fuzzy

Como a teoria de conjuntos que conhecemos pode ser adaptada para lidar com imprecisão e incerteza?



Conceitos Importantes

- Para compreender Sistemas Fuzzy é necessário entender previamente três assuntos
 - **Conjuntos Fuzzy**
 - *Um valor pertence a um conjunto fuzzy*
 - **Lógica Fuzzy**
 - *Como calcular sentenças lógicas sobre informações fuzzy*
 - **Sistema Fuzzy**
 - *Como articular os conceitos anteriores para um resultado sobre um fenômeno a ser modelado*

Ponto de partida
Conjuntos Fuzzy

Conjuntos CRISP

- Nos primeiros passos com a matemática, um conceito aprendido é o de Teoria dos Conjuntos
- Exemplo
 - Números : $A = \{ x \in \mathbb{Z} / x > 7 \}$
Número 3 pertence a A?
 - Pessoas: Conjunto das pessoas com sobrepeso nesta sala
O professor pertence a este conjunto?
 - Vogais: vogais = { a , e , i , o , u }
A letra x pertence ao conjunto?
 - Semana Dias_Semana = {seg, ter, qua, qui, sex}
Sábado pertence a um dia de semana?

Conjuntos CRISP

- Exemplo

- Números : $A = \{ x \in \mathbb{Z} / x > 7 \}$

Número 3 pertence a A?

- Pessoas: Conjunto das pessoas com sobrepeso nesta sala

O professor pertence a este conjunto?

- Vogais: vogais = { a , e , i , o , u }

A letra x pertence ao conjunto?

- Semana Dias_Semana = {seg, ter, qua, qui, sex}

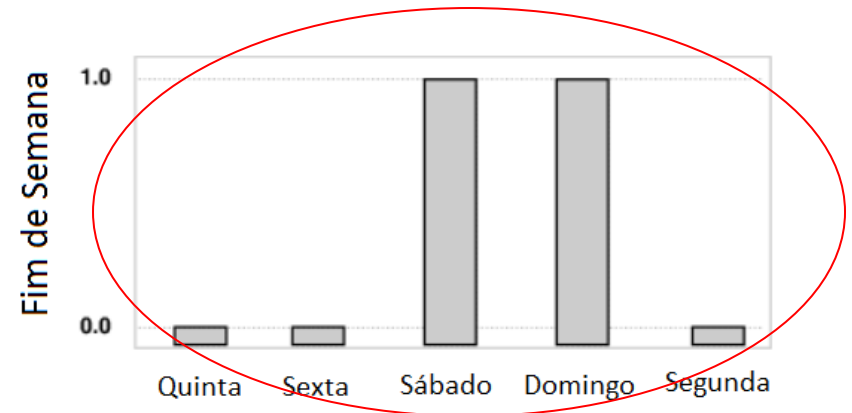
Sábado pertence a um dia de semana?

- Em um conjunto CRISP ou um elemento PERTENCE ou NÃO PERTENCE a um conjunto
- Não há “meio termo” nesta pertinência

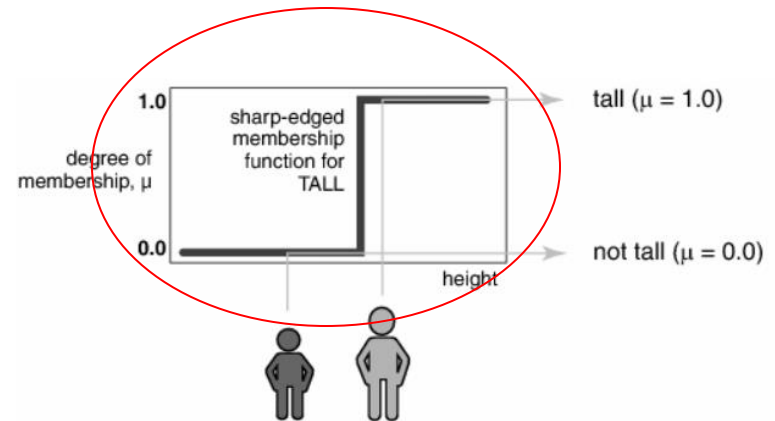
Conjuntos CRISP

- Tratando graficamente

- Domingo é um dia do fim de semana?
- Ele pertence ao conjunto de dias do fim de semana?

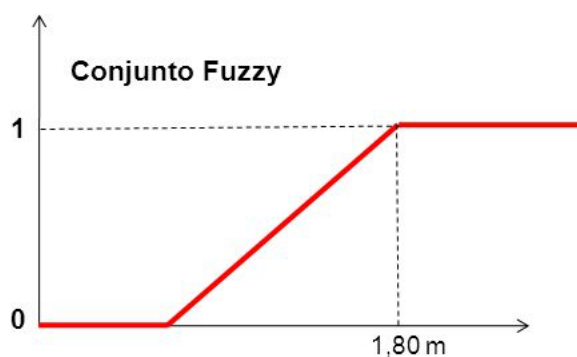
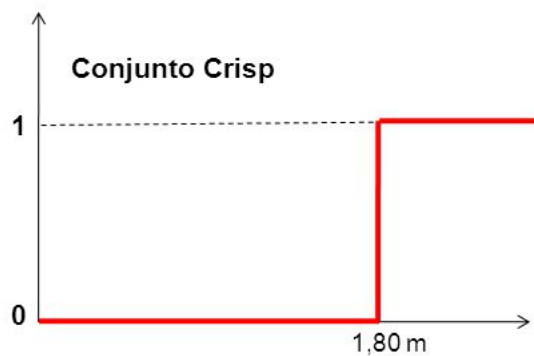


- Pessoas Altas =
{ altura $\in \mathbb{R}$ / altura $\geq 1,80$ }



Conjuntos CRISP vs Fuzzy

- Entretanto, existem conjuntos cujo limite entre pertinência e não-pertinência é vago, com transição gradual entre esses dois grupos. Ex.: pessoas altas.



Conjuntos Fuzzy

Os conjuntos fuzzy buscam estabelecer um grau de pertinência, existe o “**meio termo**”, o “talvez” e com “grau de talvez”

- Existem valores **intermediários** que avaliam se um elemento pertence ou não ao conjunto e em que grau
- Para alguns valores intermediários, existe uma escala de pertinência

Conjuntos Fuzzy

- Exemplo 1 : Dia frio

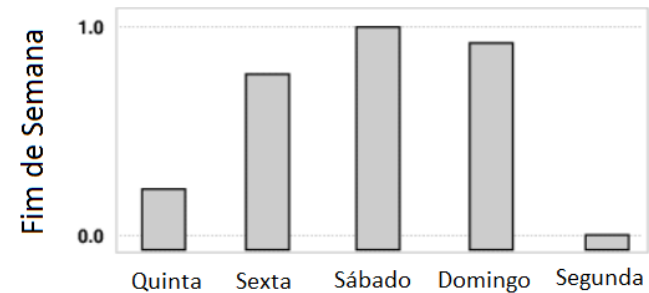
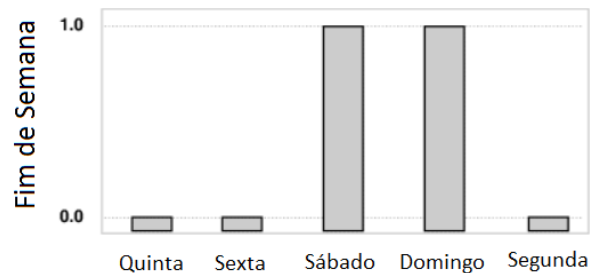
- Um dia com -2°C é um dia frio? Pertence ao conjunto “DiasFrios”?
- E se o dia tiver 41°C é frio?
- E como qualificar os dias com 19°C , 22°C , 23°C , 26°C e 30°C ?

- Exemplo 2 : Pessoa alta

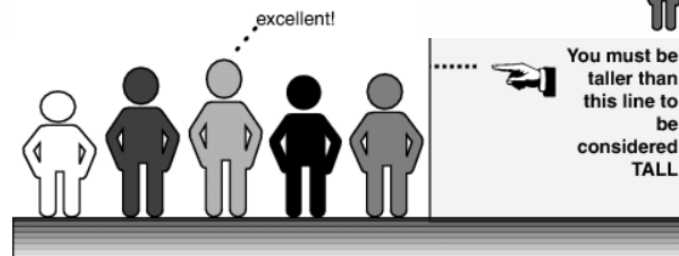
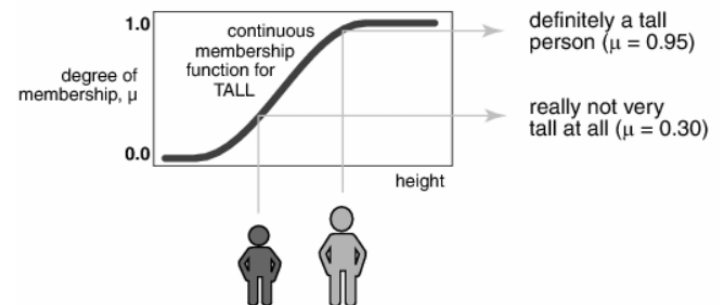
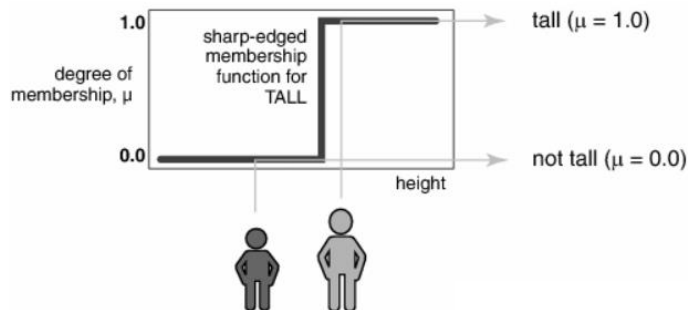
- Uma pessoa com $2,05\text{m}$ é uma pessoa alta? E Com $1,65\text{m}$?
- Uma pessoa com $1,98\text{m}$ pertence ao conjunto de pessoas altas?
- E com $1,67$?
- E como qualificar uma pessoa com $1,72\text{m}$; $1,75\text{m}$; $1,78\text{m}$; $1,84\text{m}$?

Conjuntos CRISP vs Fuzzy

- Analise as figuras e avalie a diferença entre os dois tipos de conjuntos
- Conjunto dos Dias de fim de semana

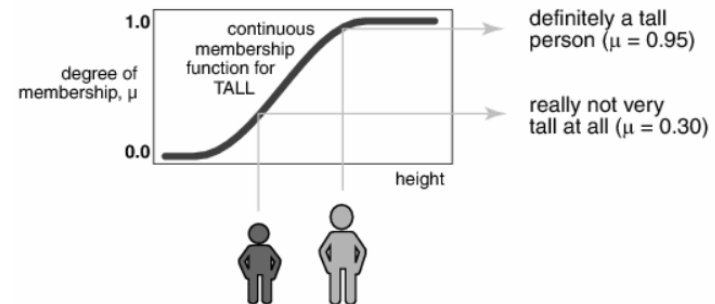
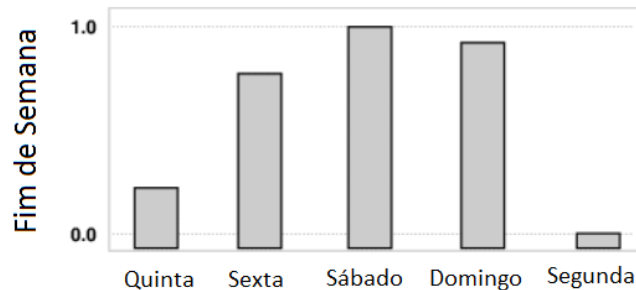


- Pessoas altas



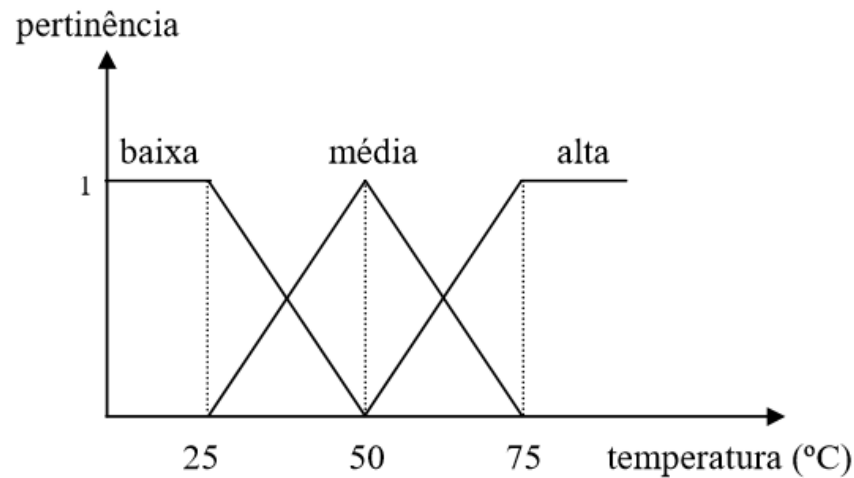
Função de Pertinência

- É uma função que justamente faz o que tem-se discutido até aqui, **retorna qual a pertinência de determinado valor a um certo conjunto**
- Para um determinado valor de uma variável, retorna o grau de pertinência do valor ao conjunto Fuzzy.



Variáveis Linguísticas

- Uma **variável linguística** é uma variável cujos **valores são nomes de conjuntos fuzzy**.
- Por exemplo, uma temperatura é uma variável linguística assumindo valores baixa, média, e alta.
- Estes valores são descritos por intermédio de conjuntos fuzzy, representados por funções de pertinência, conforme mostrado na figura a seguir:



Variáveis Linguísticas

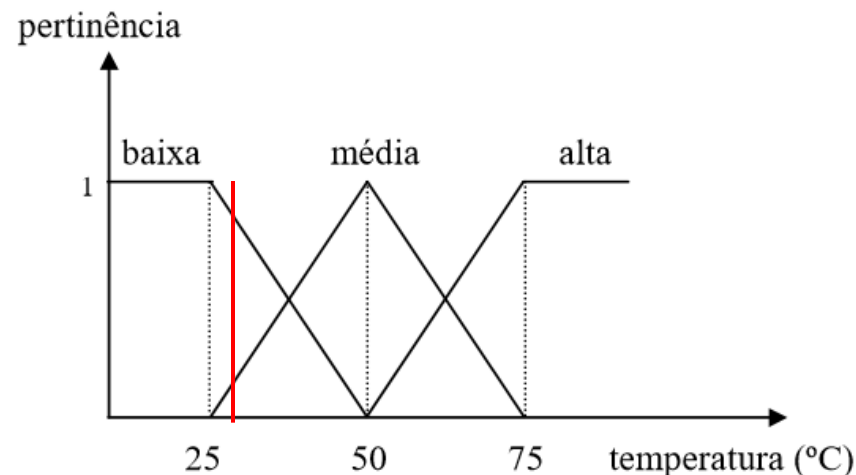
- Os valores das variáveis podem ser sentenças formadas por
 - Termos primários (p.ex. alto, baixo, pequeno, médio, grande, zero)
 - E de modificadores (muito, pouco, levemente, extremamente)
- Temperatura Alta, Média, Baixa
- Vazão Muito Alta, Alta, Média, Baixa e Muito Baixa
- Umidade Extremamente Alta, Levemente Alta, Média,...

Variáveis Linguísticas

- O uso de variáveis linguísticas é essencial para se criar uma sistemática para o **mapeamento de regras** e de **valores** em um cenário
- Por exemplo, é relativamente fácil avaliar o rendimento de um gerador
 - Falar que em temperaturas altas ele tem menor rendimento
 - E daí avaliar como criar o conjunto fuzzy de Temperatura Alta

Fuzzificação

- Fuzzificação é o processo de **transformar** uma **medida** lida em suas **pertinências nos conjuntos fuzzy** de uma variável linguística
- Por exemplo, qual a pertinência da temperatura 28°C aos conjuntos fuzzy da variável temperatura abaixo?



Fuzzificação

- Exercício para melhor compreensão

- Um Parque Eólico é um espaço onde são instalados geradores que convertem energia dos ventos (eólica) em energia elétrica.
- Imagine que um aerogerador pode gerar energia entre 3 e 4 MW.
- Que o valor desta energia gerada depende de dois fatores, da **temperatura** e da **umidade**.
- A temperatura ambiente pode variar entre 12°C e 60°C e a umidade pode variar entre 40% e 90%.

- Quais são as variáveis do problema?

- Construa o gráfico das funções de pertinência (μ) da temperatura.
- Realize a fuzzificação para os valores de 15°C, 30°C e 45°C.

Lógica Fuzzy

Como criar e calcular
sentenças lógicas com
informações fuzzy?

Raciocínio de Partida

- Retomando o caso do Aerogerador
- Imagine que você teve a oportunidade de conversar com uma engenheira do parque eólico
- Ela comentou que
 - Para temperaturas mais altas o aerogerador perde rendimento e para temperaturas mais baixas o rendimento é melhor
 - Para umidades mais altas o aerogerador tem melhor rendimento do que para umidades mais baixas
- Ou seja
 - Se Temperatura Baixa **E** Umidade Alta **ENTÃO** Potencia Alta
 - Se Temperatura Alta **E** Umidade Baixa **ENTÃO** Potencia Baixa

Raciocínio de Partida

- Ou seja
 - Se Temperatura Baixa **E** Umidade Alta **ENTÃO** Potencia Alta
 - Se Temperatura Alta **E** Umidade Baixa **ENTÃO** Potencia Baixa
- Questão: Como calcular estas sentenças?
 - Como processar a lógica com o E lógico de conjuntos fuzzy?

Lógica booleana

- Na lógica booleana temos os operadores lógicos:
 - E , OU e NÃO
- As tabelas verdade para estes operadores estão ilustrada abaixo

T	U	T E U
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

T	U	T OU U
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

T	NÃO T
0	1
1	0

- Perceba que os valores são CRISP (0 ou 1), a temperatura é ALTA ($\mu=1$)
- E o resultado é também 0 ou 1

Lógica Fuzzy

- Na lógica booleana os operadores lógicos (E , OU e NÃO) possuem suas funções equivalentes
- As comumente usadas são:
 - Para operador E - $\min(x,y)$ - Mínimo entre x e y
 - Para operador OU - $\max(x,y)$ - Máximo entre x e y
 - Para operador NÃO - $(1 - x)$ - Complemento de X

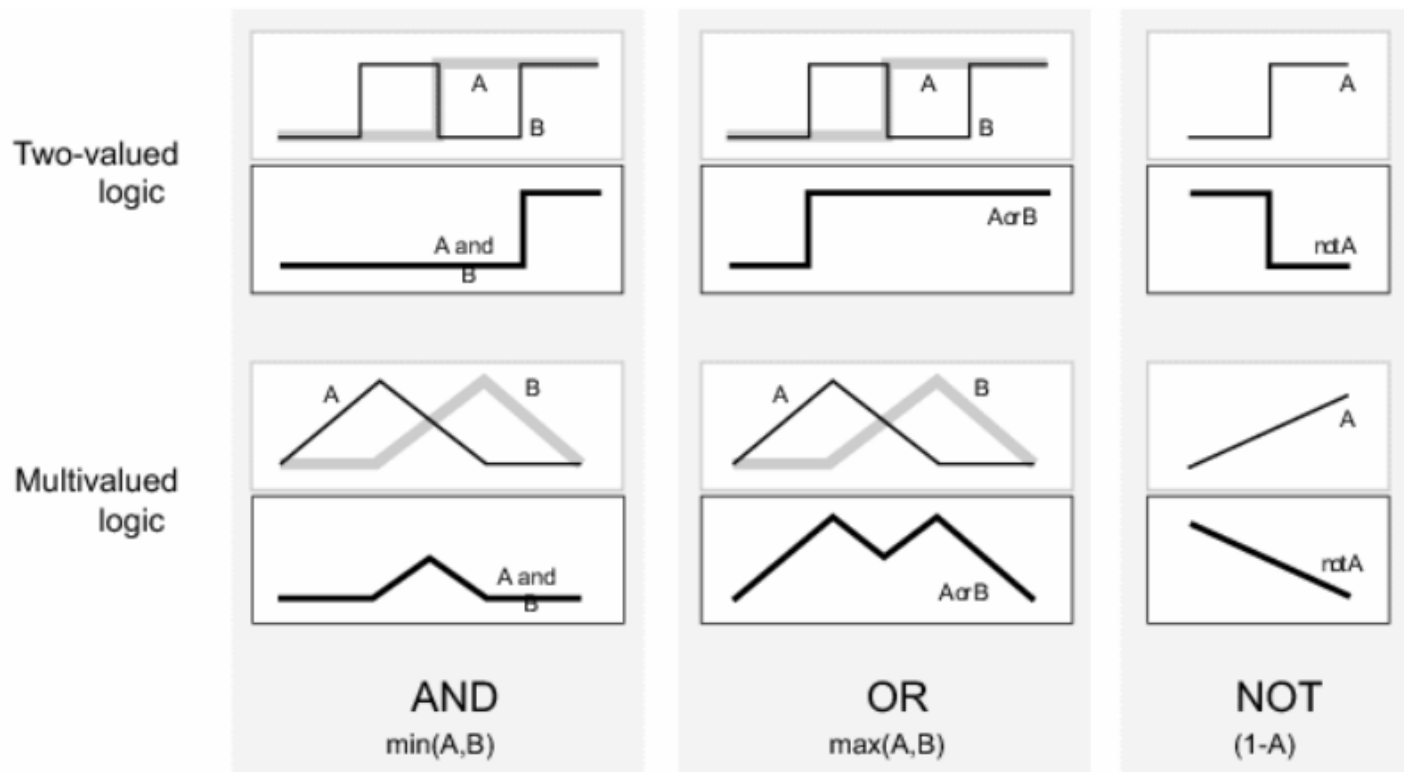
T	U	T E U min(T, U)
$\mu=0,2$	$\mu=0,1$	0,1
0,3	0,9	0,3
0,8	0,2	0,2
0,8	0,9	0,8

T	U	T OU U Max(T, U)
$\mu=0,2$	$\mu=0,1$	0,2
0,3	0,9	0,9
0,8	0,2	0,8
0,8	0,9	0,9

T	NÃO T (1 - T)
0,2	0,8
0,9	0,1

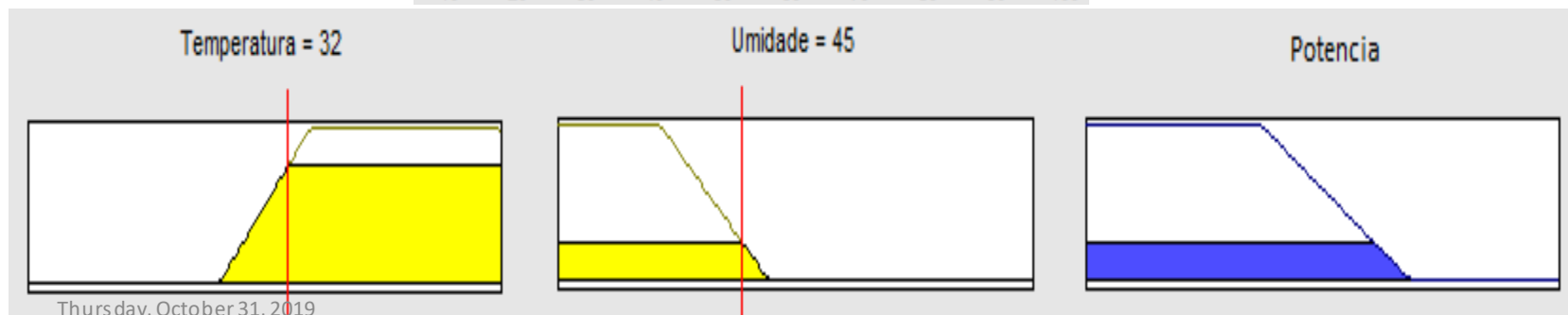
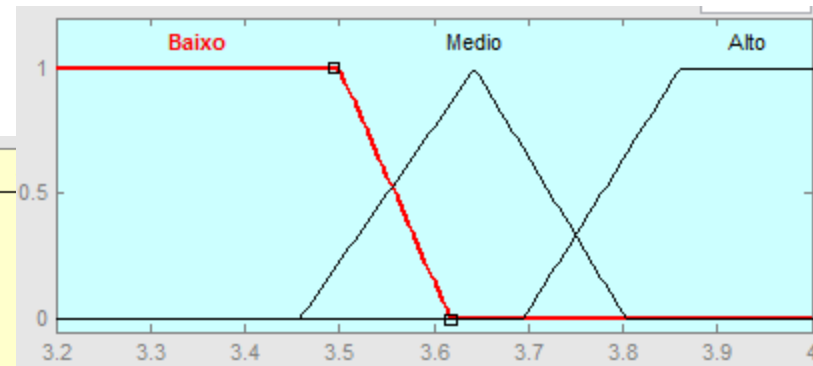
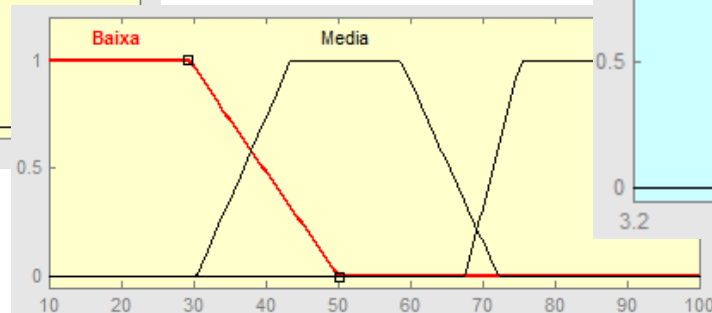
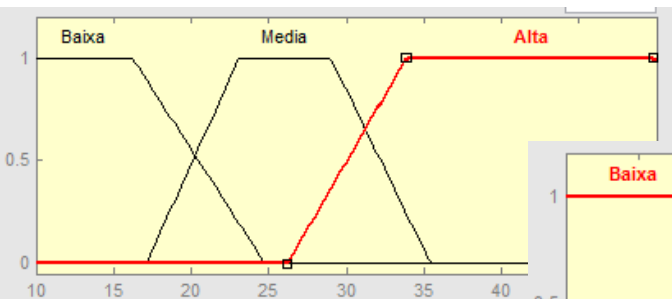
Lógica CRISP vs Fuzzy

- Lógica CRISP (Boolean) vs Lógica Fuzzy



Lógica Fuzzy

- Em um dia com temperatura de 32º C e umidade de 45 %
- Como calcular a regra
 - Se Temperatura ALTA e Umidade BAIXA ENTÃO Potencia Baixa

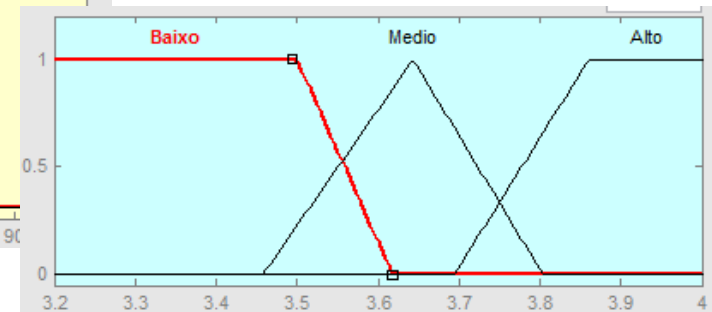
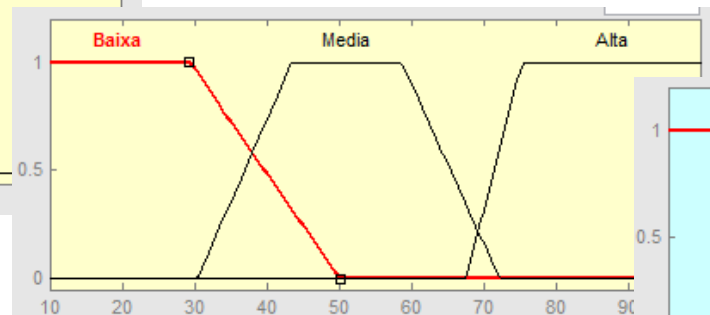
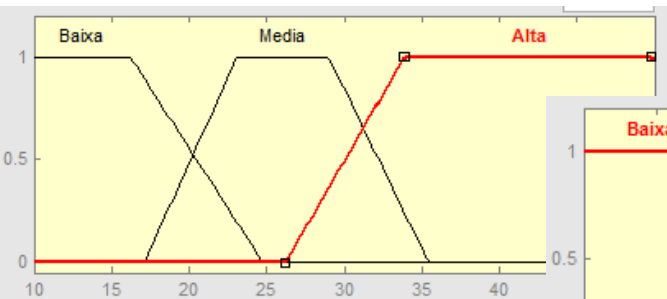


Lógica Fuzzy

- Exercícios

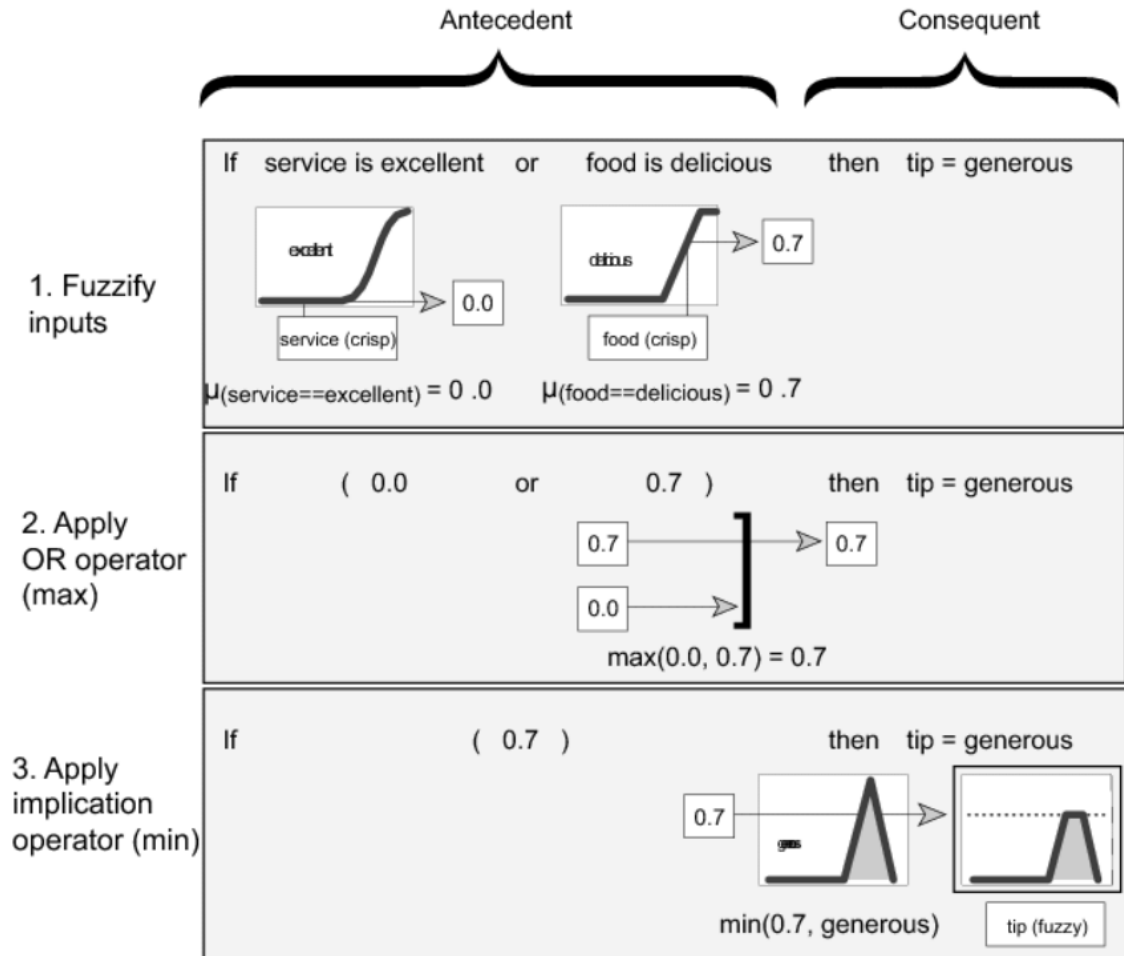
- Dia 1 : Temp = **19º C** Umidade = **75%**
- Regra: Se Temp **BAIXA** e Umidade **ALTA** então Pot **ALTA**

- Dia 2 : Temp = **22º C** Umidade = **60%**
- Regra: Se Temp **MEDIA** e Umidade **MEDIA** então Pot **MEDIA**



Processamento das Regras

- If-Then Rules

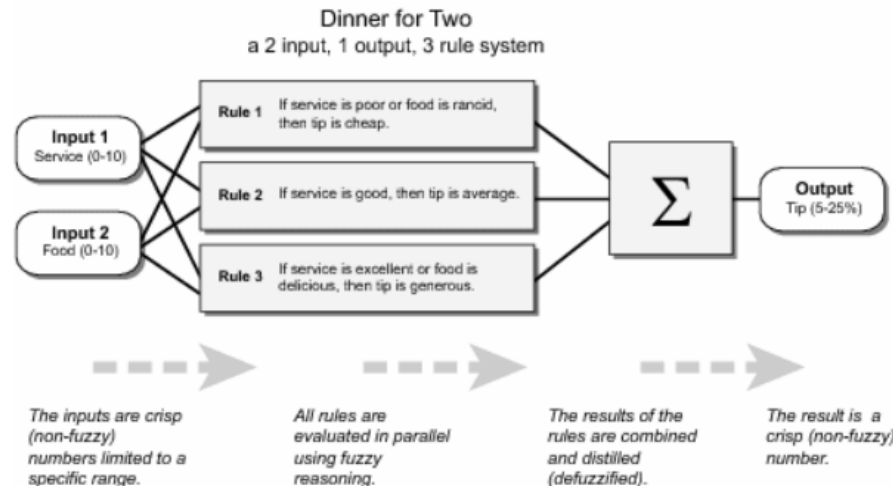


Sistemas de Inferência Fuzzy

Como articular estes conceitos em um sistema de inferência fuzzy?

Conceitos

- Sistemas de Inferência Fuzzy
 - São sistemas que usam os conceitos de lógica fuzzy para inferir algo
 - Exemplo:
 - Qual o potencial de gorjeta se um restaurante atingir determinados níveis de qualidade em serviço e comida?
 - Qual a potencia estimada de um aerogerador para a temperatura de 32° C e umidade de 50%



Cenário Completo

- Um Parque Eólico é um espaço onde são instalados geradores que convertem energia dos ventos (eólica) em energia elétrica.
 - Imagine que um aerogerador pode gerar energia entre 3 e 4 MW.
 - Que o valor desta energia gerada depende de dois fatores, da temperatura e da umidade.
 - A temperatura ambiente pode variar entre 12°C e 60°C e a umidade pode variar entre 40% e 90%.
 - O engenheiro comentou que
 - Para temperaturas mais altas o aerogerador perde rendimento e para temperaturas mais baixas o rendimento é melhor
 - Para umidades mais altas o aerogerador tem melhor rendimento do que para umidades mais baixas
- Questão
 - Como construir um Sistema de Inferência Fuzzy que através dos valores de temperatura e de umidade permite se inferir qual o valor de potência estimada para geração?

Cenário Completo

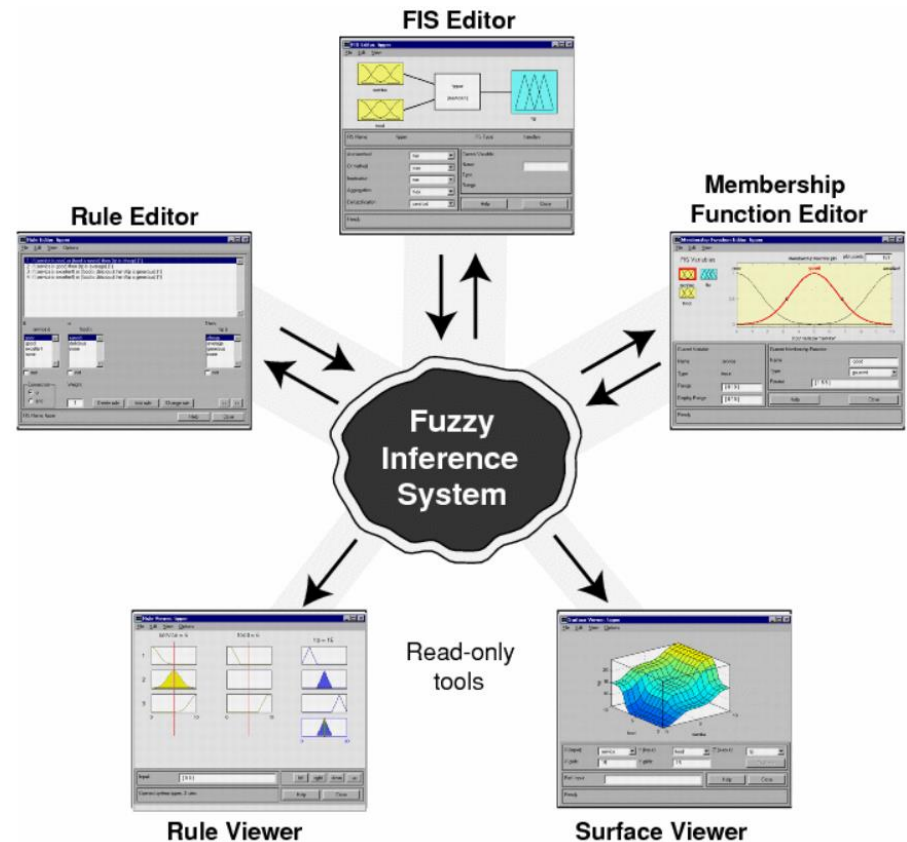
- Questões
 - Quais as entradas para o problema?
 - Quais as saídas?
 - Quais variáveis linguísticas e conjuntos fuzzy podem ser estabelecidos?
 - Quais regras podem ser estabelecidas?
 - Como calcular os valores para determinados dias?

Estrutura de um Sistema Fuzzy

- As questões anteriores dizem respeito justamente aos passos para a construção de um Sistema Fuzzy
 - **Definir os antecedentes com suas variáveis linguísticas e as funções de pertinência**
 - **Definir o consequente e as suas variáveis linguísticas e as funções de pertinência**
 - **Definir as regras de inferência**
 - **Avaliar o sistema**

Estrutura de um Sistema Fuzzy

- Passos para construção de um Sistema Fuzzy
 - Estrutura do sistema
 - Variáveis e funções de pertinência
 - Definição de regras
 - Avaliação das regras e de superfície

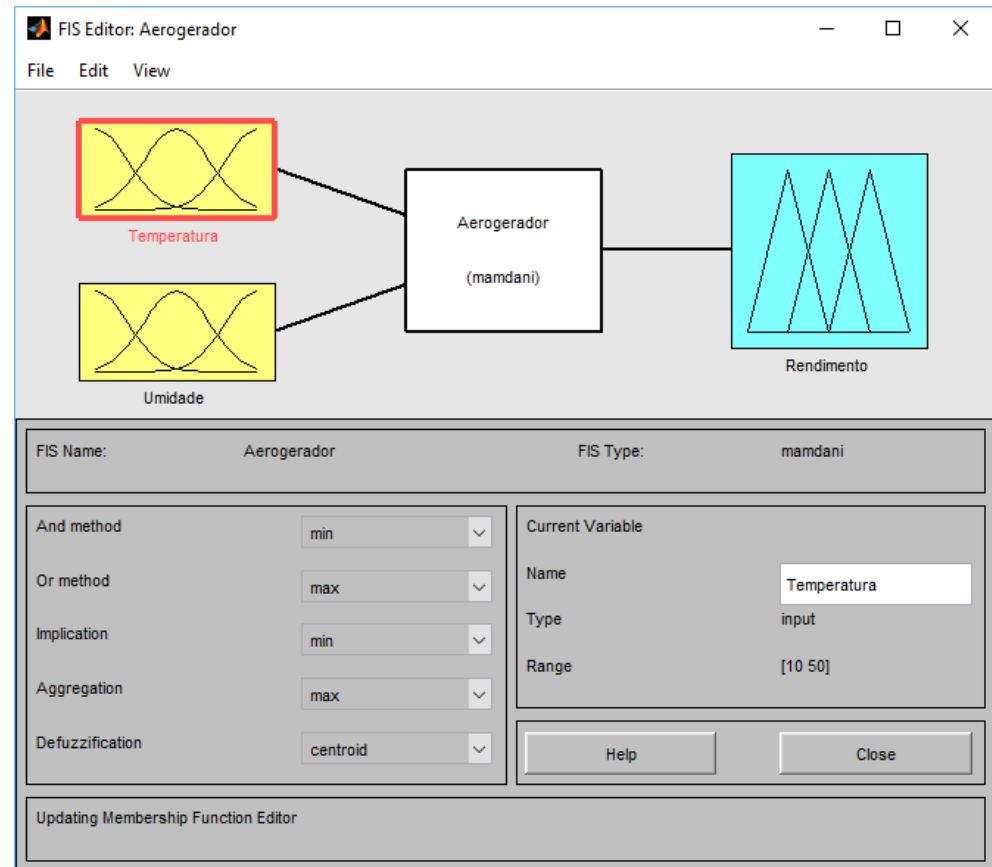


Exemplo Usando o Matlab

Como articular estes conceitos em um sistema de inferência fuzzy?

Exemplo de Sistema Fuzzy

- Para exemplificar, será usado o Matlab e seu Fuzzy Logic Toolbox.
- Será mostrado o exemplo do sistema do Aerogerador
- Passo 1 :
 - Estrutura do Sistema
 - Antecedentes (Entradas)
 - Consequente(Saídas)



Exemplo de Sistema Fuzzy

- Passo 2 : Para os antecedentes e consequentes são definidas as variáveis linguísticas e suas funções de pertinência

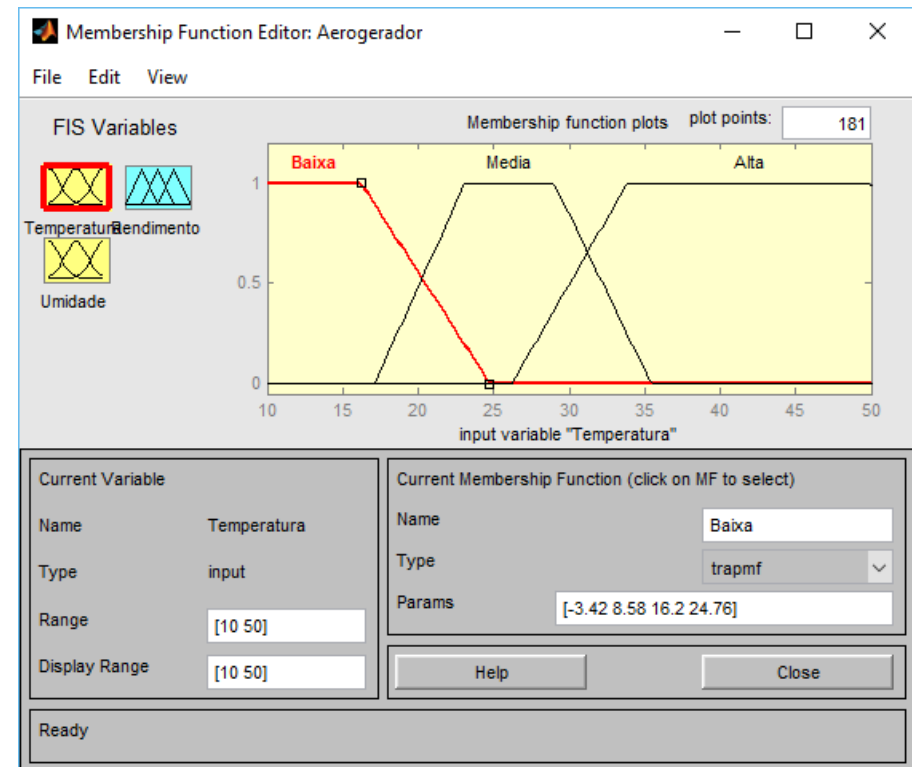
– Para a entrada (antecedente)

Temperatura

Baixa

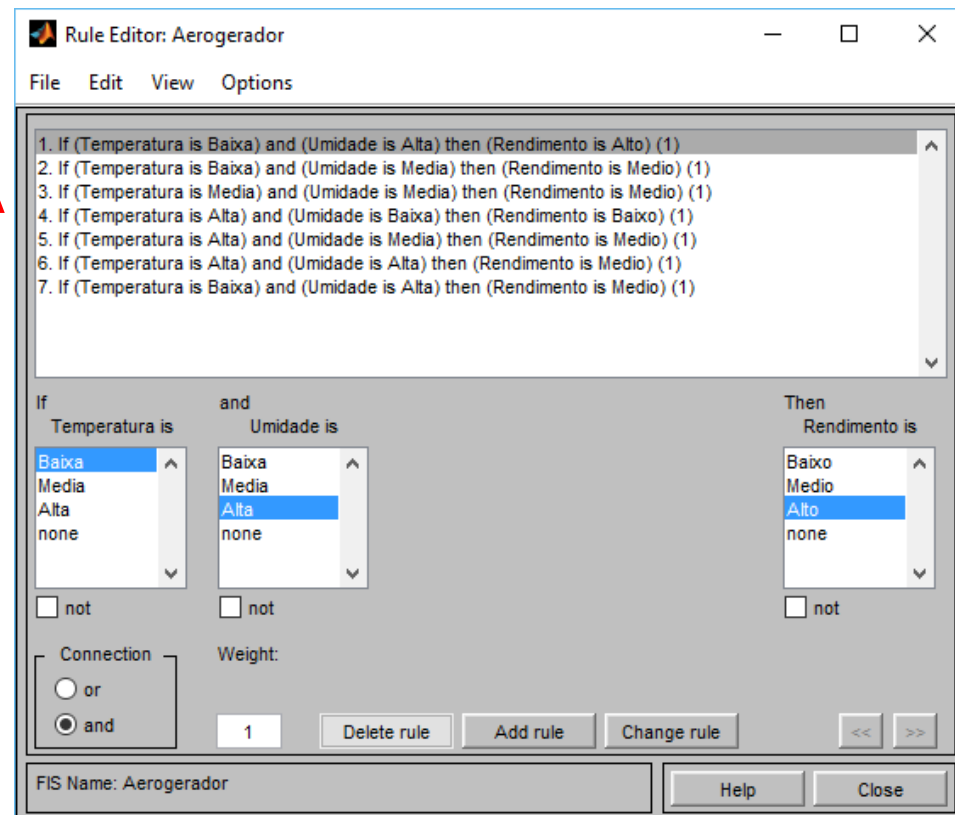
Média

Alta



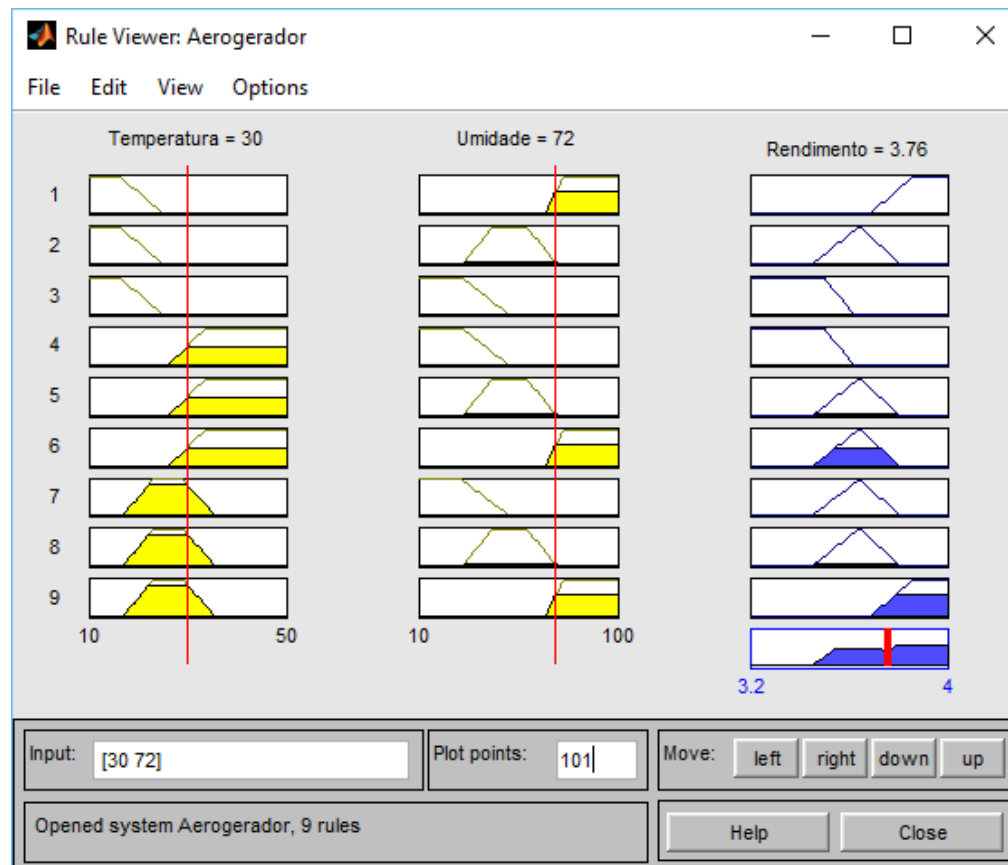
Exemplo de Sistema Fuzzy

- Passo 3 : Criam-se as regras que regem o modelo
- No caso do aerogerador, quais regras que falam sobre o rendimento a partir da temperatura e umidade
- Se Temp **MEDIA** e Umidade **MEDIA** então Pot **MEDIA**
- Se Temp **BAIXA** e Umidade **ALTA** então Pot **ALTA**
- Outras



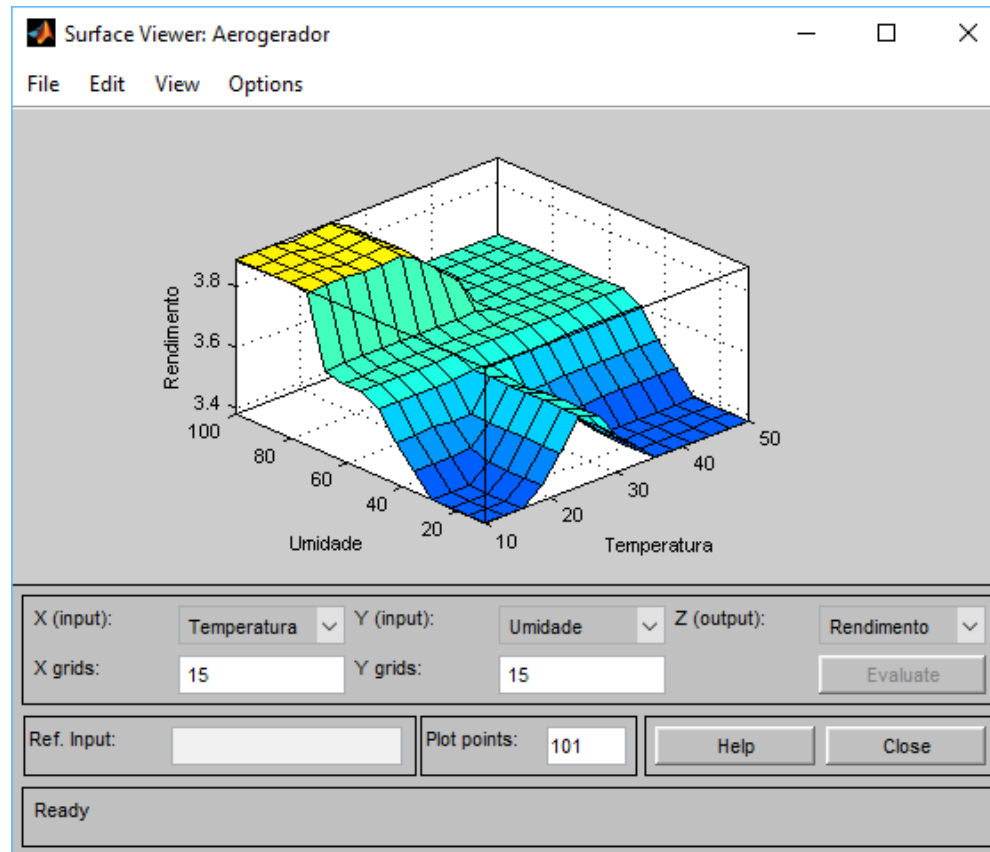
Exemplo de Sistema Fuzzy

- Passo 4 : O sistema está pronto, basta avaliar e ajustar seu funcionamento



Exemplo de Sistema Fuzzy

- Passo 4 : O sistema está pronto, basta avaliar e ajustar seu funcionamento



Exemplo Usando o JFuzzyLogic

Como articular estes conceitos em um sistema de inferência fuzzy?

Implementação com JFuzzyLogic

- Além do Toolbox de Fuzzy do Matlab, existem diversas outras ferramentas para implementação de sistemas fuzzy
- Este novo exemplo explora o JFuzzyLogic uma ferramenta para java que permite a criação de sistemas fuzzy por meio de scripts ou programação em java
- Veja o roteiro do laboratório de Fuzzy para maiores detalhes
- E copie também o diretório LabFuzzy com material de apoio

Implementação com JFuzzyLogic

```
/* Example: Modelagem de um Aerogerador para previsão de geração de energia
Calculates ENERGIA based on 'temperatura' and 'umidade'
java -jar jFuzzyLogic.jar -e nome.fcl 8 9 */
FUNCTION_BLOCK aerogerador

VAR_INPUT
    umidade : REAL;
    temperatura : REAL;
END_VAR

VAR_OUTPUT
    potencia : REAL;
END_VAR

FUZZIFY temperatura
    TERM fria := (0, 1) (1, 1) (3,0) ;
    TERM normal := (2, 0) (5, 1) (7,1) (9,0);
    TERM quente := (7,0) (9,1);
END_FUZZIFY

FUZZIFY umidade
    TERM seco := (0, 1) (1, 1) (3,0) ;
    TERM normal := (2, 0) (5, 1) (7,1) (9,0);
    TERM umido := (7,0) (9,1);
END_FUZZIFY

DEFUZZIFY potencia
    TERM minima := (0, 1) (1, 1) (3,0) ;
    TERM nominal := (2, 0) (5, 1) (7,1) (9,0);
    TERM maxima := (7,0) (9,1);
    METHOD : COG; // Use 'Center Of Gravity' defuzzification method
    DEFAULT := 0; // Default value is 0 (if no rule activates defuzzifier)
END_DEFUZZIFY

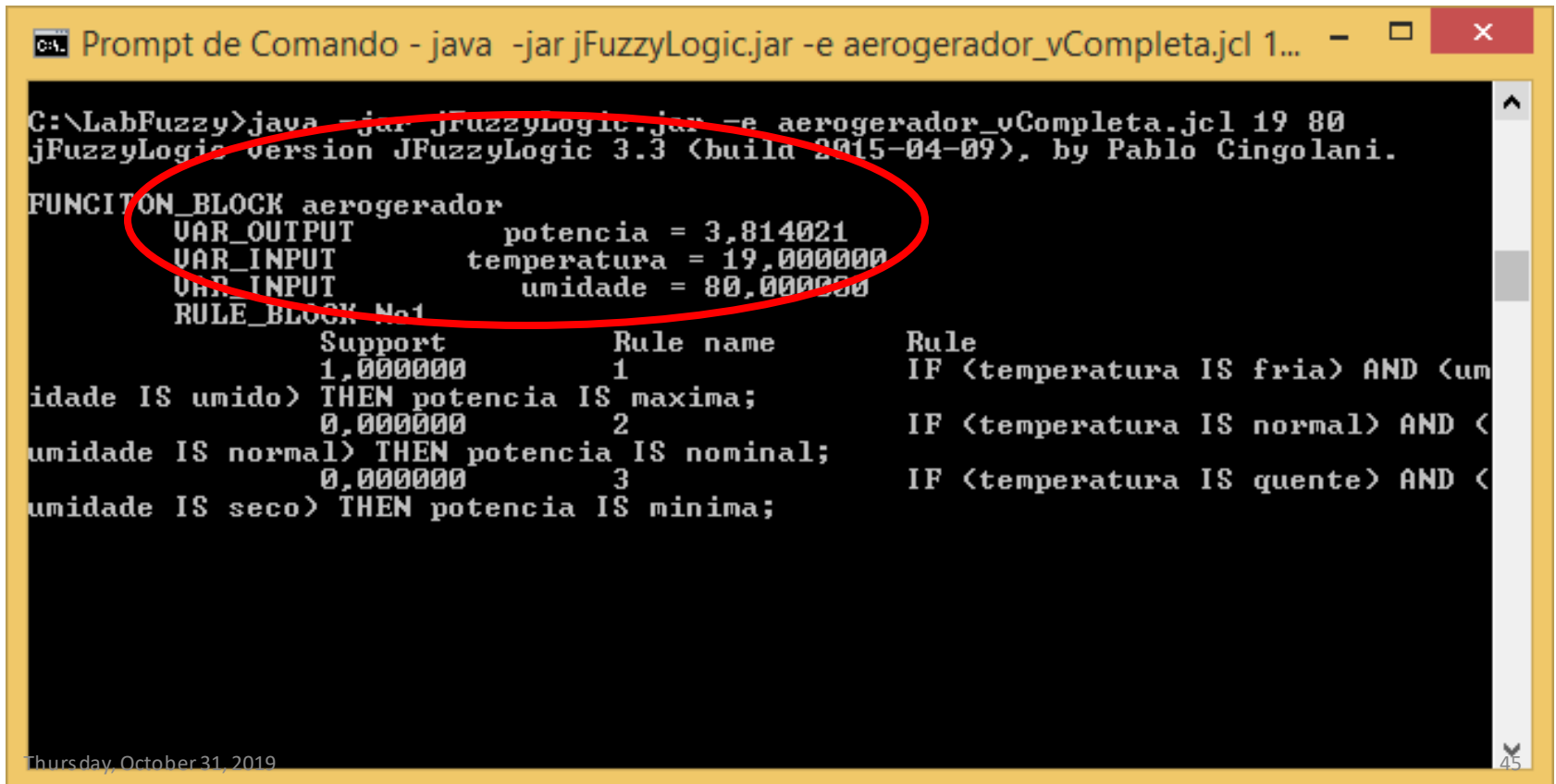
RULEBLOCK No1
    AND : MIN; // Use 'min' for 'and'
    ACT : MIN; // Use 'min' activation method
    ACCU : MAX; // Use 'max' accumulation method

    RULE 1 : IF temperatura IS fria OR umidade IS umido THEN potencia IS
maxima;
END_RULEBLOCK
END_FUNCTION_BLOCK
```

- Estrutura do FIS
- Antecedentes
- Consequente
- Regras

Implementação com JFuzzyLogic

- Execução com parâmetros de
 - 19°C (temperatura) e 80%(umidade)



```
Prompt de Comando - java -jar jFuzzyLogic.jar -e aerogerador_vCompleta.jcl 19 80
C:\LabFuzzy>java -jar jFuzzyLogic.jar -e aerogerador_vCompleta.jcl 19 80
jFuzzyLogic version JFuzzyLogic 3.3 (build 2015-04-09), by Pablo Cingolani.

FUNCITON_BLOCK aerogerador
  VAR_OUTPUT      potencia = 3,814021
  VAR_INPUT       temperatura = 19,000000
  VAR_INPUT       umidade = 80,000000
  RULE_BLOCK No1
    Support      Rule name      Rule
    1,000000     1              IF <temperatura IS fria> AND <um
    idade IS umido> THEN potencia IS maxima;
    0,000000     2              IF <temperatura IS normal> AND <
    umidade IS normal> THEN potencia IS nominal;
    0,000000     3              IF <temperatura IS quente> AND <
    umidade IS seco> THEN potencia IS minima;
```

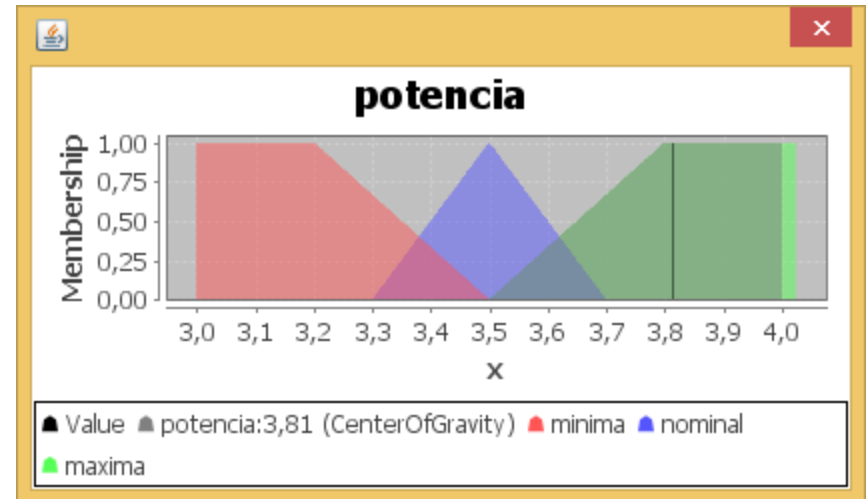
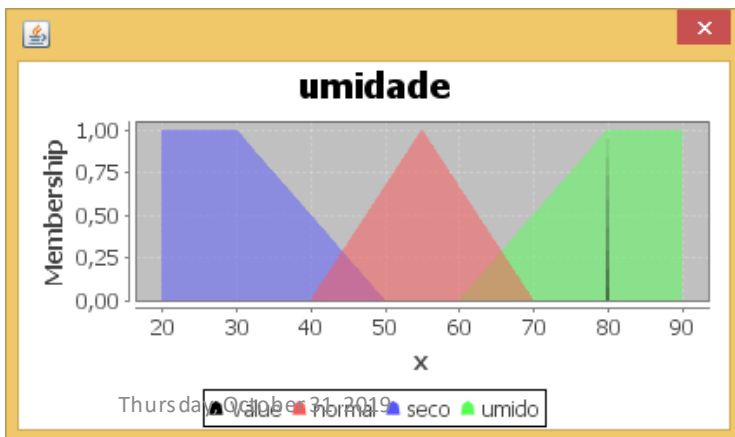
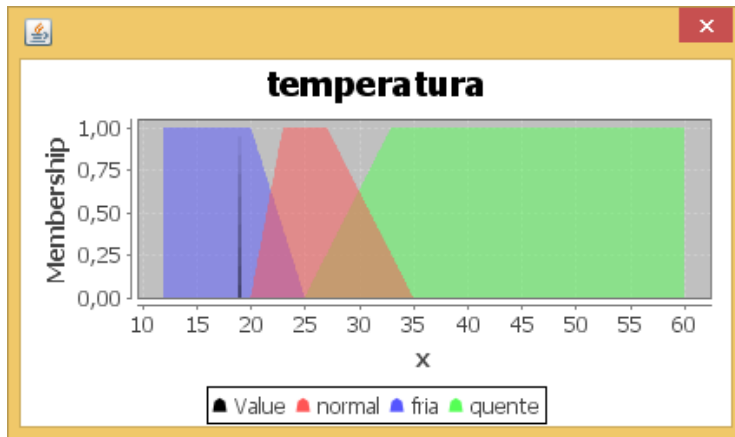
Thursday, October 31, 2019

Implementação com JFuzzyLogic

- Simulação

- Considerando um dia com 19°C de temperatura e 80% de umidade

A potência gerada deverá
de 3,81MW



Trabalho

6 Equipes de 5 pessoas

Serão 2 trabalhos:

- 1 de Fuzzy
- 1 de RNA

21/nov

18/nov

Trabalho

Equipe1:
Thabata
Fuzzy 1
RNA 1

Equipe2:
Gabriel
Fuzzy 3
RNA 2

Equipe3:

Equipe4:
João
Fuzzy 2
RNA 3

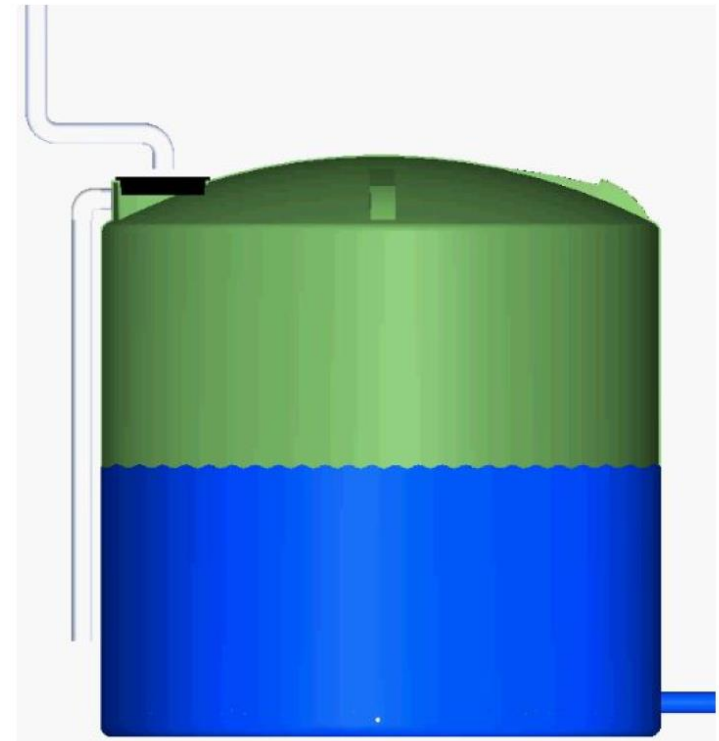
Equipe5:

Trabalho

Problema Fuzzy 1

Tanque quente ou frio

Construa um sistema fuzzy baseado em regras para controlar a pressão e a temperatura de saída de água de um tanque que pode receber água quente ou fria, controlando as válvulas de entrada. Teste com diferentes demandas de pressão e temperatura ao longo do tempo.



Trabalho

Problema Fuzzy 2

Construa um sistema fuzzy baseado em regras que faça o controle automática de velocidade de um carro, considerando resistência ao rolamento dos pneus, arrasto do ar da carroceria, declive da pista.

Teste em diferentes condições de pista e demandas de velocidade.



Trabalho

Problema Fuzzy 3

Construa um sistema fuzzy para controlar um canhão que lança projéteis e precisa atingir um alvo, baseado em uma informação aproximada de distância e altura do alvo, e também da distância aproximada do último projétil para o alvo.

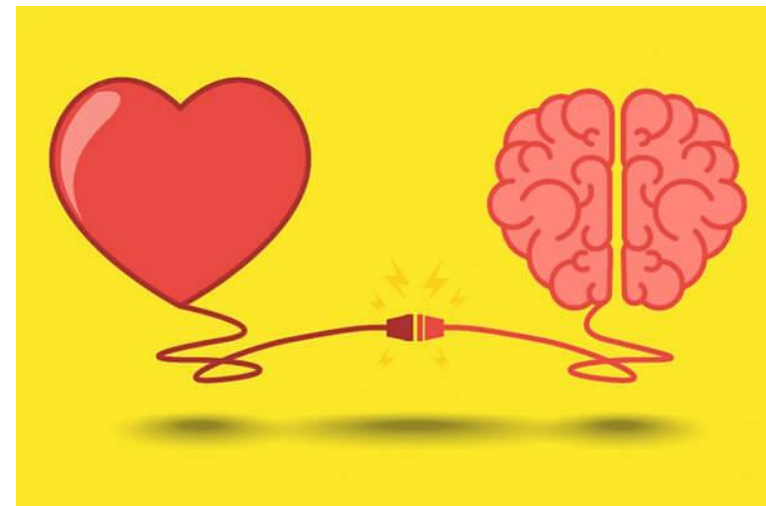


Trabalho

Problema RNA 1

Analizando sentimentos...

Um site de <e-commerce/hoteis/restaurantes/etc> solicitou que o desenvolvimento de um sistema que seja capaz de analisar os comentários dos usuários e informar se o comentário realizado é uma opinião positiva ou negativa. Você é capaz de desenvolver esta solução? (A escolha do site é sua, mas peça aprovação do professor.)



Trabalho

Problema RNA 2

Predição no futebol

Um site de apostas esportivas contratou você para criar um sistema que seja capaz de prever o placar de um jogo de futebol a partir do histórico de informações sobre os jogos. Que tal conquistar este desafio? (você deve buscar uma fonte para seus dados e montar sua base de dados)



Trabalho

Problema RNA 3

Quem é você?

Uma empresa de marketing digital está buscando novas soluções para identificação e segmentação de clientes. Ela está contratando uma solução que permita definir a idade de um usuário a partir de seu padrão de temporização no uso do teclado. Você consegue encarar deste desafio? (a coleta de dados é por sua conta)



Especificação projeto Fuzzy

Fuzzy

Siga as especificações abaixo:

- a) Especifique e desenvolva um sistema baseado em regras fuzzy para controlar o sistema escolhido.
- b) Avalie o seu sistema fuzzy para pelos menos 3 variações de condições iniciais e parâmetros desejados.
- c) Realize pelo menos 1 variação na modelagem dos conjuntos fuzzy e avalie novamente seu sistema em pelo menos 1 das condições da letra b.
- d) Realize pelo menos 1 variação nas regras de controle e avalie novamente seu sistema em pelo menos 1 das condições da letra b.
- e) Realize pelo menos 1 variação na defuzzificação e avalie novamente seu sistema em pelo menos 1 das condições da letra b.
- f) Nas avaliações, mostre por gráficos o comportamento das variáveis de entrada e saída do sistema controlado ao longo do tempo.
- g) Escolha pelo menos 2 situações para demonstrar o funcionamento da inferência no seu sistema, apresentando passo a passo o que acontece a partir de entradas crisp até a obtenção de uma saída crisp.
- h) Elabore um relatório (formato SBC, artigo coluna única) com as seções de Introdução, Metodologia e Resultados. Seu relatório deve ser entregue por email (ver na página endereço). Veja a seguir o que deve conter cada seção:

Relatório do Exercício Computacional:

Introdução: apresente brevemente o contexto de algoritmos evolutivos e o problema.

Metodologia:

- descreva o sistema controlado escolhido, e sua modelagem matemática;
- descreva ferramentas, linguagem de programação e/ou bibliotecas utilizadas;
- apresente seu sistema fuzzy, incluindo variáveis lingüísticas, conjuntos fuzzy e regras, ilustre com um diagrama;
- descreva as variações planejadas de condições iniciais e parâmetros desejados
- descreva as variações planejadas no sistema fuzzy;

Resultados:

- divida as sub-seções de acordo com as variações executadas, apresente o gráfico de comportamento do sistema controlado, e discuta os resultados;
- apresente as demonstrações de funcionamento da inferência no seu sistema e discuta os resultados.

TANQUE DE ÁGUA

entrada do sistema do tanque

$Vq(t)$ = vazão da água quente pela abertura da válvula, até no máximo Vq_{max}

$Vf(t)$ = vazão da água fria pela abertura da válvula, até no máximo Vf_{max}

Parâmetros

Vq_{max} e Vf_{max} = valores máximos de vazão de entrada

A_{max} = altura máxima do tanque

$A(0)$ = altura inicial da água no tanque

R = raio do tanque (cilíndrico)

Vq_{max} = vazão máxima da tubulação de água quente (m^3/s)

Vt_{max} = vazão máxima da tubulação de água fria (m^3/s)

T_f = temperatura da água fria na entrada

T_q = temperatura da água quente na entrada

$T(0)$ = temperatura inicial da água no tanque

V_d = vazão desejada de saída da água

T_d = temperatura desejada de saída da água

g = gravidade ($9.8m/s^2$)

saída do sistema

Vazão de saída

$$Vs(t) = (0,002m^2) \cdot \sqrt{(2 \cdot g \cdot A(t-1))}$$

Altura do tanque

$$A(t) = A(t-1) + (Vq(t) + Vf(t) - Vs(t)) \cdot \Delta t / (\pi R^2)$$

$A(t)$ deve ser limitado ao valor máximo de A_{max}

Δt = intervalo de tempo da simulação (sugestão de 1s)

Temperatura de saída

$$Ts(t) = \frac{Ts(t-1) \cdot A(t-1) \cdot (\pi R^2) + T_q \cdot Vq(t) \cdot \Delta t + T_f \cdot Vf(t) \cdot \Delta t}{A(t-1) \cdot (\pi R^2) + Vq(t) \cdot \Delta t + Vf(t) \cdot \Delta t}$$

entrada do sistema fuzzy

DV = diferença entre a vazão de saída $Vs(t)$ e a vazão desejada V_d

DT = diferença entre a temperatura de saída $Ts(t)$ e a temperatura desejada T_d

saída do sistema fuzzy

$Vq(t)$ e $Vf(t)$

VELOCIDADE DE UM CARRO

entrada do sistema carro

posição do acelerador $P(t)$ (entre 0 e 1, ou 0% e 100%)

parâmetros

M = massa do carro (kg)

T = torque do motor (sugestão 10 mkgf)

X = relação de transmissão (sugestão 0,5 a 2,0)

R = raio da roda (sugestão 0,35 m para aro 14")

C_a = constante de resistência ao arrasto ($1.2\text{kg/m}^3 \times 0.33 \times \text{área frontal do carro}$, por exemplo 2m^2)

C_r = constante de atrito por rolamento (sugestão 0,01, experimente outros valores)

g = gravidade (9.8m/s^2)

V_d = velocidade desejada

saída do sistema carro

velocidade (m/s, se multiplicar por 3,6 terá em km/h) do carro

$$V(t) = V(t-1) + a(t-1) \cdot \Delta t$$

Δt = intervalo de tempo da simulação (sugestão de 0,1s)

Aceleração (m/s^2) $a(t) = F(t)/M$

força total do carro $F(t) = F_t(t) + F_a(t) + F_r(t) + F_g(t)$

força da tração do motor $F_t(t) = P \cdot T \cdot X / R$

força de resistência do arrasto $F_a(t) = -C_a \cdot V(t)^2$, se em alta velocidade (defina!)

força de atrito por rolamento

$F_r(t) = -C_r \cdot M \cdot g$, se $V(t) \neq 0$ ou $[V(t) = 0 \text{ e } F_r(t) < F_t(t) + F_g(t)]$;

senão $F_r(t) = F_t(t) + F_g(t)$

força da gravidade (aclives e declives) $F_g(t) = -g \cdot M \cdot \sin(\theta)$

ângulo entre o carro e o plano horizontal θ = zero se plano, positivo se for subida e negativo, se descida

entrada do sistema fuzzy

DV = diferença entre a velocidade $V(t)$ e a velocidade desejada V_d

saída do sistema fuzzy

$P(t)$

DISPARO DE CANHÃO

Neste caso o canhão irá disparar um primeiro projétil a partir de um ângulo inicial e uma força inicial e depois irá disparar os próximos a partir da posição alcançada pelo projétil anterior.

entrada da simulação do canhão

Ao = ângulo do canhão para disparo, entre 0° e 90°

Vo = velocidade do disparo do canhão, entre 0 e F_{max}

parâmetros

Xa e Ya = posição (x,y) do alvo

Yc = altura da boca do canhão em relação ao solo

assuma que $y=0$ é a altura do solo e $x=0$ é a posição do canhão

saída do simulação do canhão

$Vx=Vo.\cos (Ao)$

$Vy=Vo.\sin(Ao)$

$x(t) = Vx \cdot t$

$y(t) = Yc + Vy \cdot t - g \cdot t^2 / 2$

Xr será a posição do projétil quando atinge o solo e assim para

Yr é altura do projétil quando passa na posição Xa do alvo

entrada do sistema fuzzy

DX =diferença entre a posição Xr e a posição Xa

DY =diferença entre a posição Yr e a posição Ya

saída do sistema fuzzy

A = ângulo do canhão no próximo disparo, entre 0° e 90°

V = velocidade do disparo do canhão no próximo disparo, entre 0 e F_{max}

Especificação Projeto RNA

Procedimentos:

1. Projete uma rede neural MLP com uma camada escondida para realizar a tarefa escolhida. Especifique o número neurônios de entradas e saída da rede.
2. Crie seu conjunto de dados com exemplos de entrada e saída. Colete uma quantidade razoável de exemplos.
3. Divida seu conjunto de dados em treino e teste. Treine a rede uma vez para minimizar ao máximo o erro no conjunto de treino. Efetue uma avaliação do erro no conjunto de teste. Experimente novas inicializações da rede neural, variações na quantidade de neurônios da camada escondida, variações no algoritmo de treino. Elabore tabelas do erro final e gráficos de erro ao longo das épocas de treinamento. Como se comparam os resultados? Justifique.
4. Divida seu conjunto de dados em treino, teste e validação. Treine a rede uma vez para minimizar ao máximo o erro no conjunto de validação. Efetue uma avaliação do erro no conjunto de teste. Reproduza as mesmas inicializações da rede neural, variações na quantidade de neurônios da camada escondida, e variações no algoritmo de treino. Como se comparam os resultados? Justifique.
5. Repita os itens 3 e 4 para fazendo outra divisão do conjunto de dados.

6. Com base nos resultados, escolha uma configuração e teste seu sistema em uma situação real.
7. Faça um relatório descrevendo sua metodologia, evidenciando sua arquitetura de rede neural, as entradas e saídas projetadas e a coleta de dados, justificando suas escolhas. Exiba seus resultados e faça uma discussão deles, comparando e justificando as diferenças e semelhanças.

referencias

- <http://jfuzzylogic.sourceforge.net/html/manual.html>