

Inteligência Artificial

Lógica Difusa (*Fuzzy Logic*) - Introdução -

Paulo Moura Oliveira

Departamento de Engenharias

Gabinete F2.15, ECT-1

UTAD

email: oliveira@utad.pt

Estrutura da Apresentação

1. Introdução e Motivação
2. Conjuntos Difusos (*Fuzzy Sets*)
3. Lógica
4. Regras Se-Então (*If-Then Rules*)
5. Sistemas de Inferência Difusos
6. Implementação

Nota: Grande parte dos conceitos e exemplos apresentados nesta apresentação baseiam-se na publicação:
Fuzzy Logic Toolbox- For use with Matlab, Mathworks.

Introdução e Motivação

O que é a Lógica Difusa?

- ✓ Algumas reflexões introdutórias sobre Fuzzy logic :

“Precision is not truth.”

—Henri Matisse

“As complexity rises, precise statements lose meaning and meaningful statements lose precision.”

—Lotfi Zadeh (**considerado o precursor da *Fuzzy Logic* (Inicialmente denominada *Possibilistic Logic*).**



Lotfi A. Zadeh, Mais info em

https://en.wikipedia.org/wiki/Lotfi_A._Zadeh

Acedido em 30-7-2018

Introdução e Motivação

O que é a Lógica Difusa?



- ✓ A lógica difusa é uma forma conveniente de mapear um espaço de entrada num espaço de saída.
- ✓ A lógica difusa permite obter um bom **compromisso** entre **relevância** e **precisão**.

Na lógica difusa o valor verdadeiro (T) pode variar entre 0 e 1: $0 \leq T \leq 1$

Introdução e Motivação

Relevância versus Precisão (*Significance Versus Precision*)

- ✓ Considere o exemplo de um piano a cair do 15 andar com uma pessoa no rés-do-chão no local da colisão:
 - Aviso com **precisão**: “ Cuidado, um piano com 1200kg está a cair com uma velocidade de 40m/s e vai-te acertar exatamente em x segundos.”
 - Aviso com **relevância**: “ Cuidado, afasta-te depressa.”

Introdução e Motivação

Porquê utilizar Fuzzy Logic?

- “Fácil” de perceber conceptualmente.
- Elevada **Flexibilidade e Tolerante a dados imprecisos**.
- Pode modelar **funções não lineares** com qualquer grau de complexidade.
- Pode ser construída a partir da experiência de peritos.
- É baseada em **linguagem natural (linguagem utilizada pelo comum dos mortais)**.

Introdução e Motivação

Exemplo da Gorjeta [*]: Fuzzy versus Non-Fuzzy

- ✓ Nos Estados Unidos as gorjetas podem ser um complemento muito importante para o salário dos empregados de restaurantes. Geralmente é de 15% do valor da refeição, mas pode variar dependendo da qualidade do serviço.

Qual a gorjeta a dar a um funcionário mediante a classificação do serviço e da comida numa escala de 0-10 (0- Péssimo ; 10- Excelente)?

* Adaptado de:

Fuzzy Logic Toolbox- For use with Matlab, Mathworks.

Introdução e Motivação

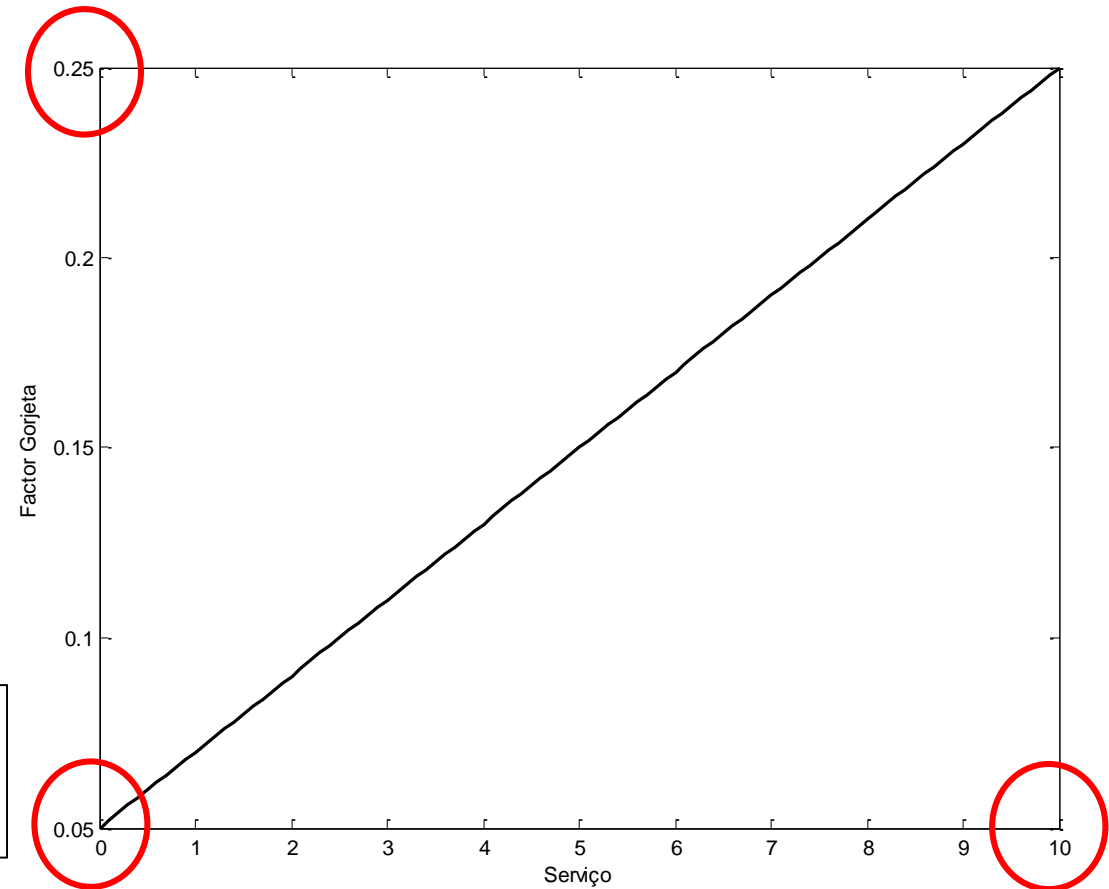
Exemplo da Gorjeta

1. Caso considerando **só a qualidade do serviço**: A gorjeta **é fixa** e igual a 15% do valor da conta.

```
% Linear e constante de 15%  
Factor = 0.15;
```

2. Caso considerando **só a qualidade do serviço**: A gorjeta **varia** de forma linear desde 5% (serviço péssimo) a 25% (serviço excelente)

```
% Linear incremental de 5% a 25%  
Factor = 0.05+ (0.20/10)*servico;
```

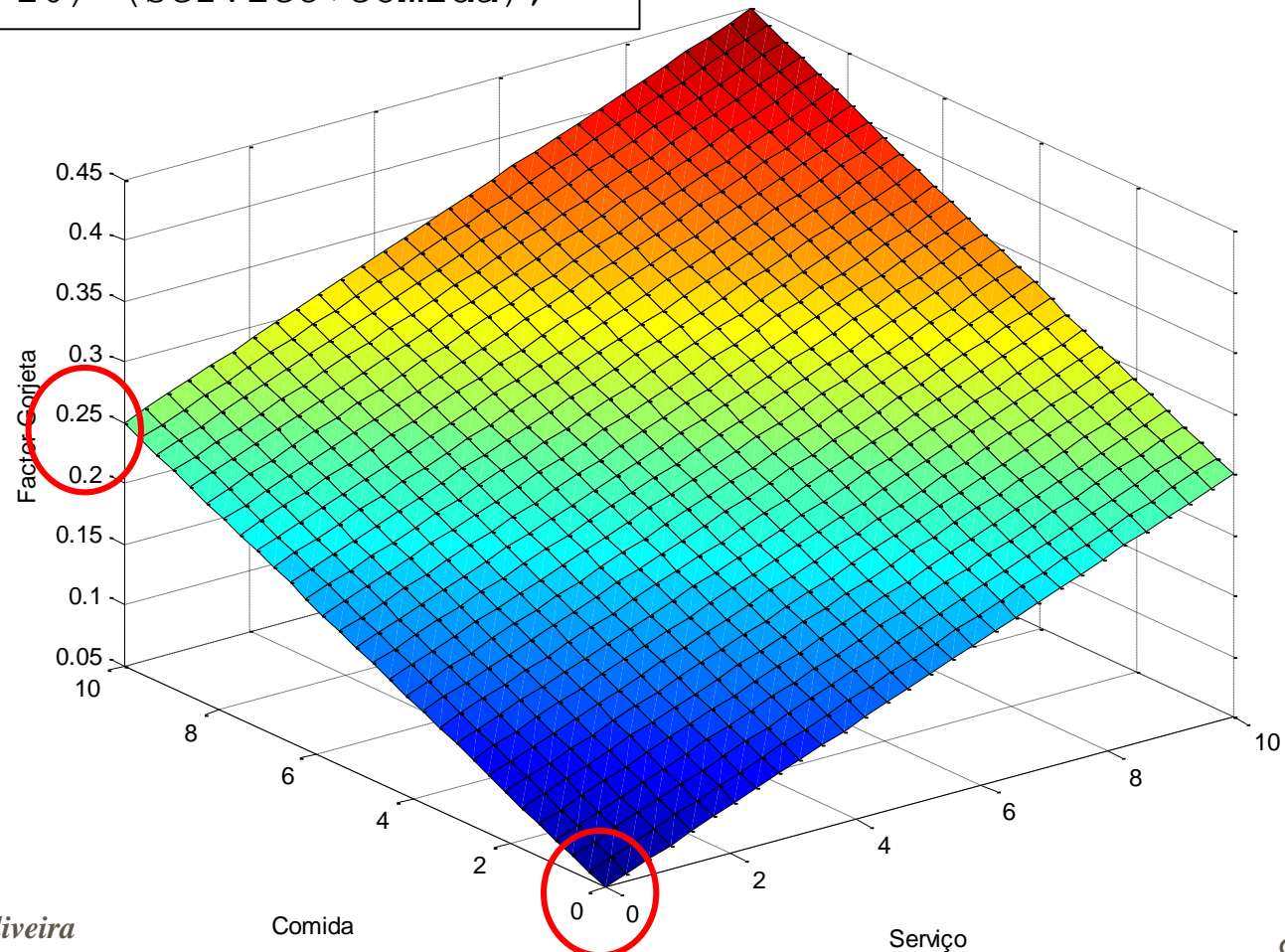


Introdução e Motivação

3. Caso considerando a **qualidade do serviço (50%)** e da **comida (50%)**:

% Linear incremental de 5% a 25%

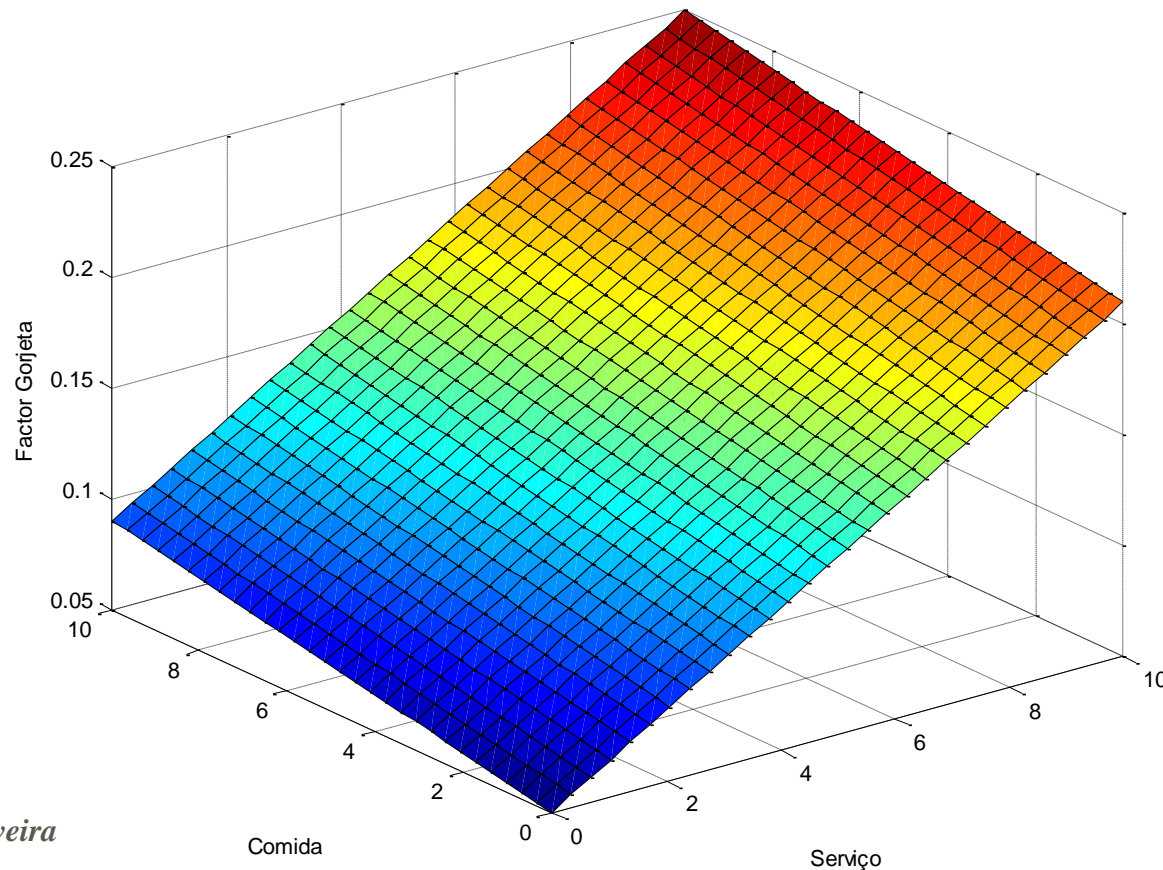
Factor = $0.05 + (0.20/20) * (\text{servico} + \text{comida})$;



Introdução e Motivação

4. Caso considerando que o **serviço** é mais importante (80%) que a comida (20%)

```
Rel_ser=0.8; % Relevância do serviço  
Rel_com=(1-Rel_ser); % Relevância da comida  
Factor = 0.05+ Rel_ser*((0.20/10)*servico) +Rel_com*((0.20/10)*comida);
```

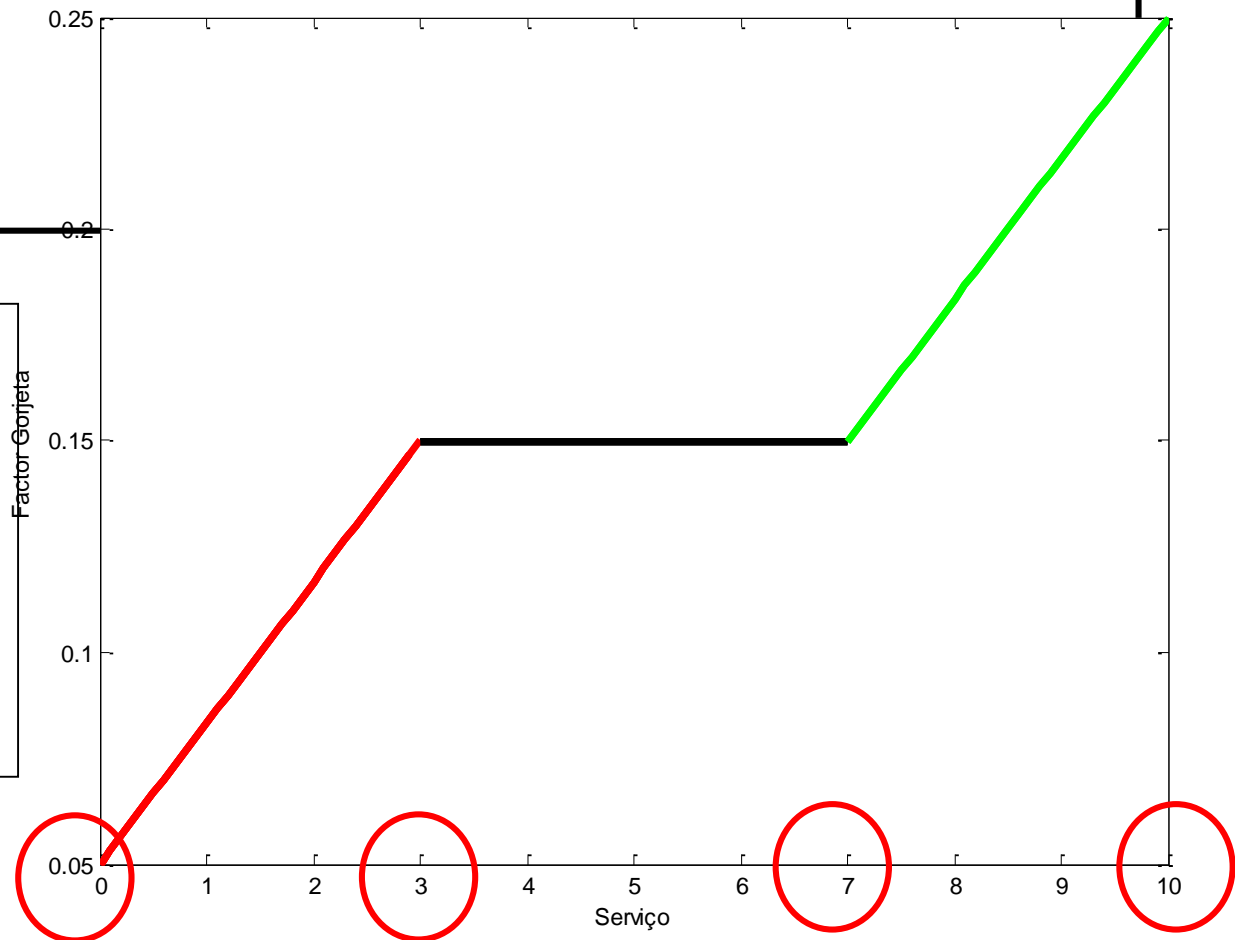


Introdução e Motivação

5. Considerando somente o serviço, uma classificação usando três níveis que poderiam ser:

- I. Serviço menor que 3
- II. Serviço entre 3 e 7
- III. Serviço entre 7 e 10

```
% Linear com três níveis
if servico < 3
    Factor=
    0.05+(0.10/3)*servico;
elseif servico < 7
    Factor= 0.15;
elseif servico <= 10
    Factor = 0.15+
    (0.10/3)*(servico-7);
end
```



Introdução e Motivação

6. Abordagem Fuzzy: Considerando somente a qualidade do serviço:

Regra 1: Se o serviço é mau então a gorjeta é baixa.

Regra 2: Se o serviço é bom então a gorjeta é média.

Regra 3: Se o serviço é excelente então a gorjeta é alta.

7. Abordagem Fuzzy: Considerando a qualidade do serviço e da comida:

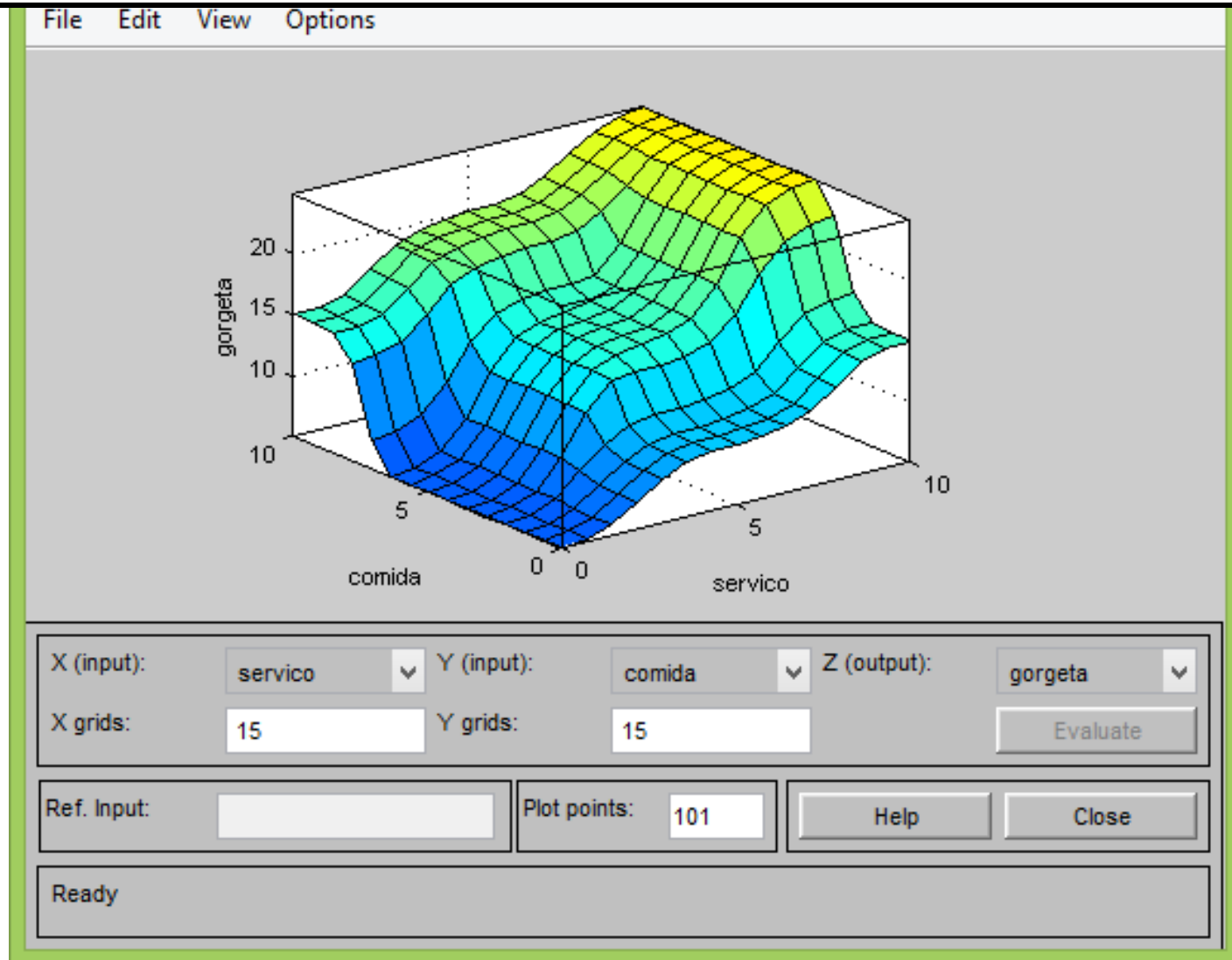
Regra 1: Se o serviço é mau ou a comida é má então a gorjeta é baixa.

Regra 2: Se o serviço é bom então a gorjeta é média.

Regra 3: Se o serviço é excelente e a comida é excelente então a gorjeta é alta.

Introdução e Motivação

7. Abordagem Fuzzy: Considerando a qualidade do serviço e da comida:



Conjuntos Difusos (Fuzzy Sets)

Um conjunto difuso não tem os limites do intervalo precisamente definidos, podendo conter elementos com um grau de pertença parcial.

- Considere-se um exemplo com um conjunto com alguns dias da semana:

Segunda Terça Sábado

- Elementos como: **melro, carro, copo**, não pertencem a este conjunto. Um elemento ou é um dia da semana ou não. Não pode ser as duas coisas.
- Se tentarmos definir um conjunto com os dias do fim de semana e se fizesse um **inquérito** a um conjunto de pessoas para **classificar sexta-feira**, um resultado possível seria:

Sábado Domingo Sexta



Fronteira

Na lógica difusa, a verdade de qualquer afirmação passa a ser uma questão de grau.

Conjuntos Difusos (Fuzzy Sets)

- Quando fazemos uma pergunta a alguém podemos ter uma **resposta Booleana: Sim ou Não**
- No entanto, para muitas perguntas não é fácil dar uma resposta uma resposta de sim ou não (pela complexidade, por conveniência, por inaptidão, etc.)

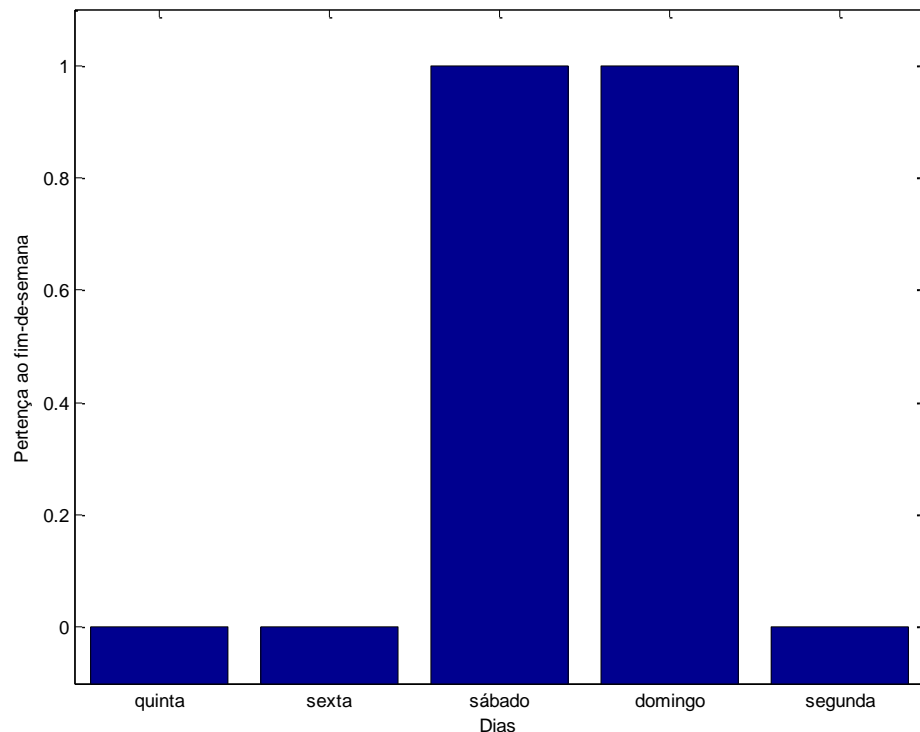
Os humanos estão habilitados a dar respostas vagas e imprecisas. E os computadores?

- Pedindo-se a algumas pessoas para classificar se alguns **dias pertencem ou não ao fim de semana entre 0-1**:
 - Q: Sábado é um dia do fim de semana, R: 1*
 - Q: Quinta é um dia do fim de semana, R: 0*
 - Q: Sexta é um dia do fim de semana, R: 0.8*
 - Q: Domingo é um dia do fim de semana, R: 0.95*
 - Q: Segunda-feira é um dia do fim de semana, R: 0*

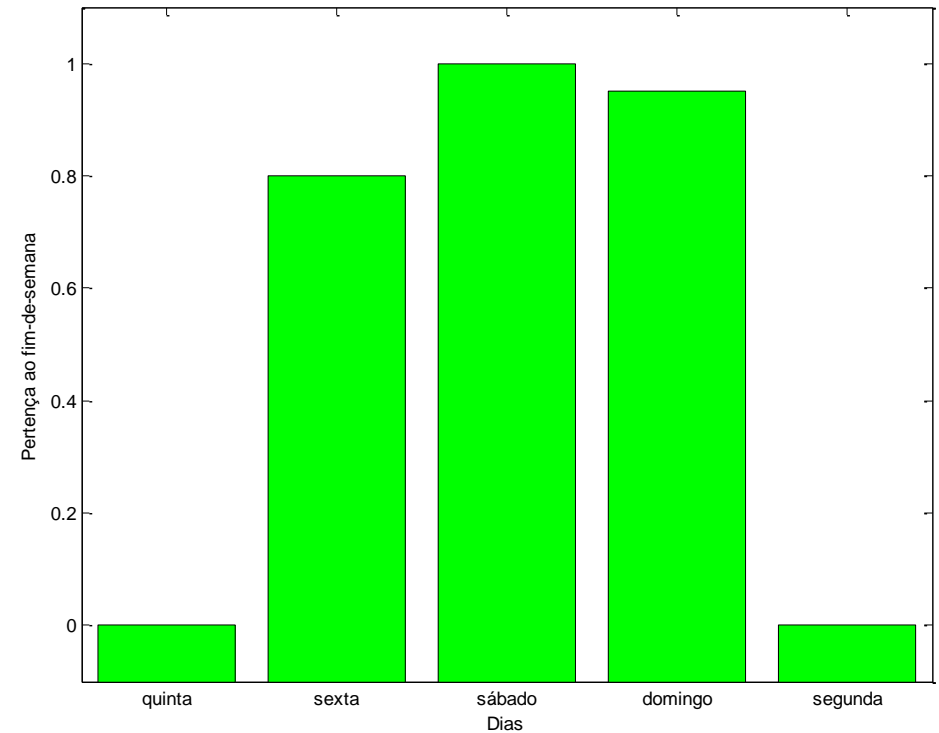
Conjuntos Difusos (Fuzzy Sets)

Lógica multivalente (*Multivalued Logic*) em vez de Lógica Binária

- Na lógica multivalente existe um conjunto de valores infinitos entre 0 (falso) e 1 (verdadeiro).



Pertença Binária (2 valores ou Bivalente)

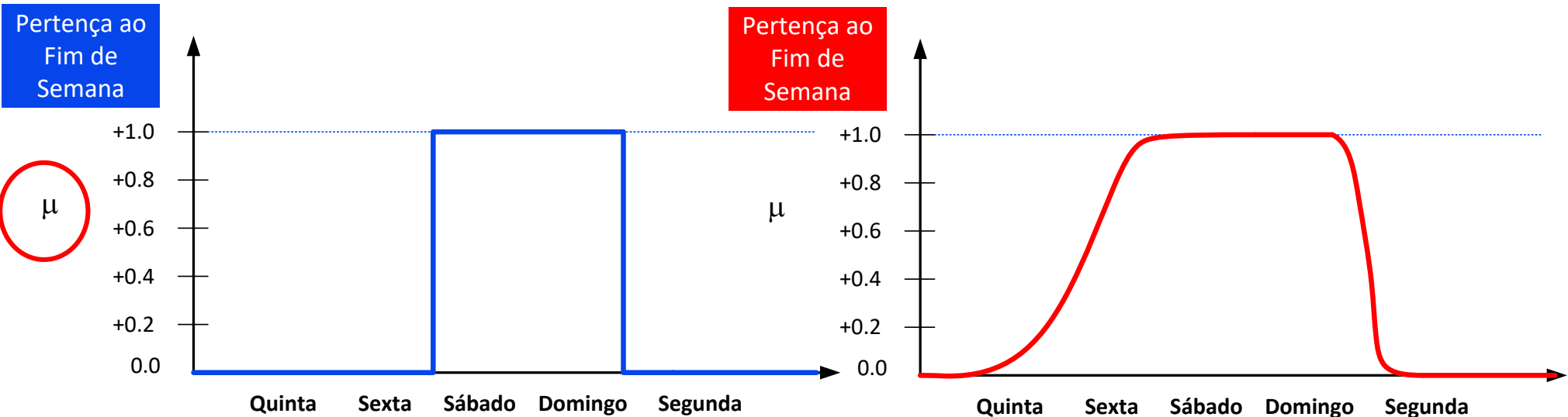


Pertença Multivalente

Conjuntos Difusos (Fuzzy Sets)

Função de Pertença (*Membership Function*)

- Utilizando uma escala contínua para mostrar a função de pertença (*membership function*)



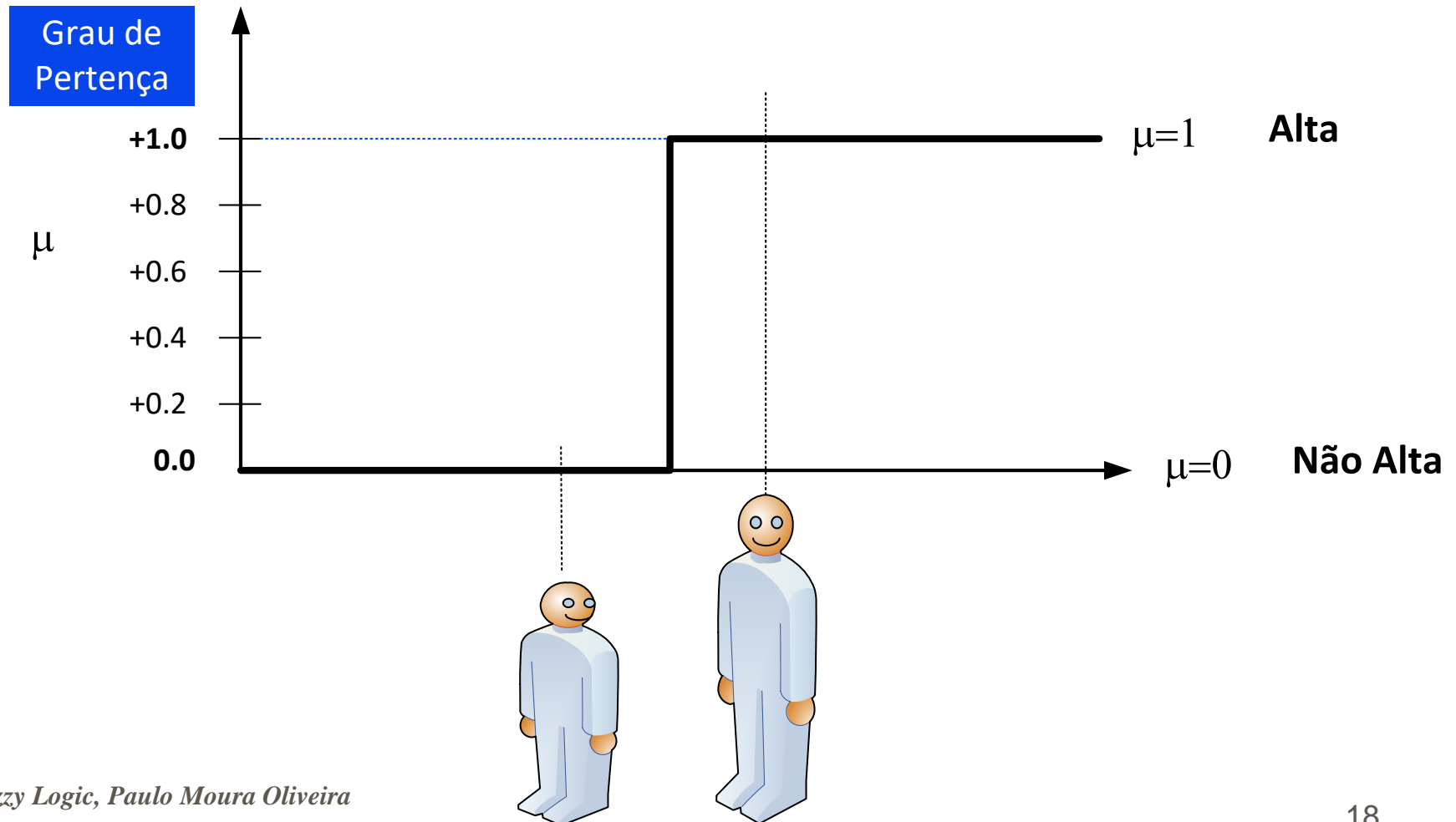
Função de pertença é uma curva que define como cada ponto do espaço de entrada (discourse universe) é mapeado para um valor (ou grau) de pertença

Esta função é muitas vezes representada pelo símbolo μ (ou χ) e varia entre 0 e 1.

Conjuntos Difusos (*Fuzzy Sets*)

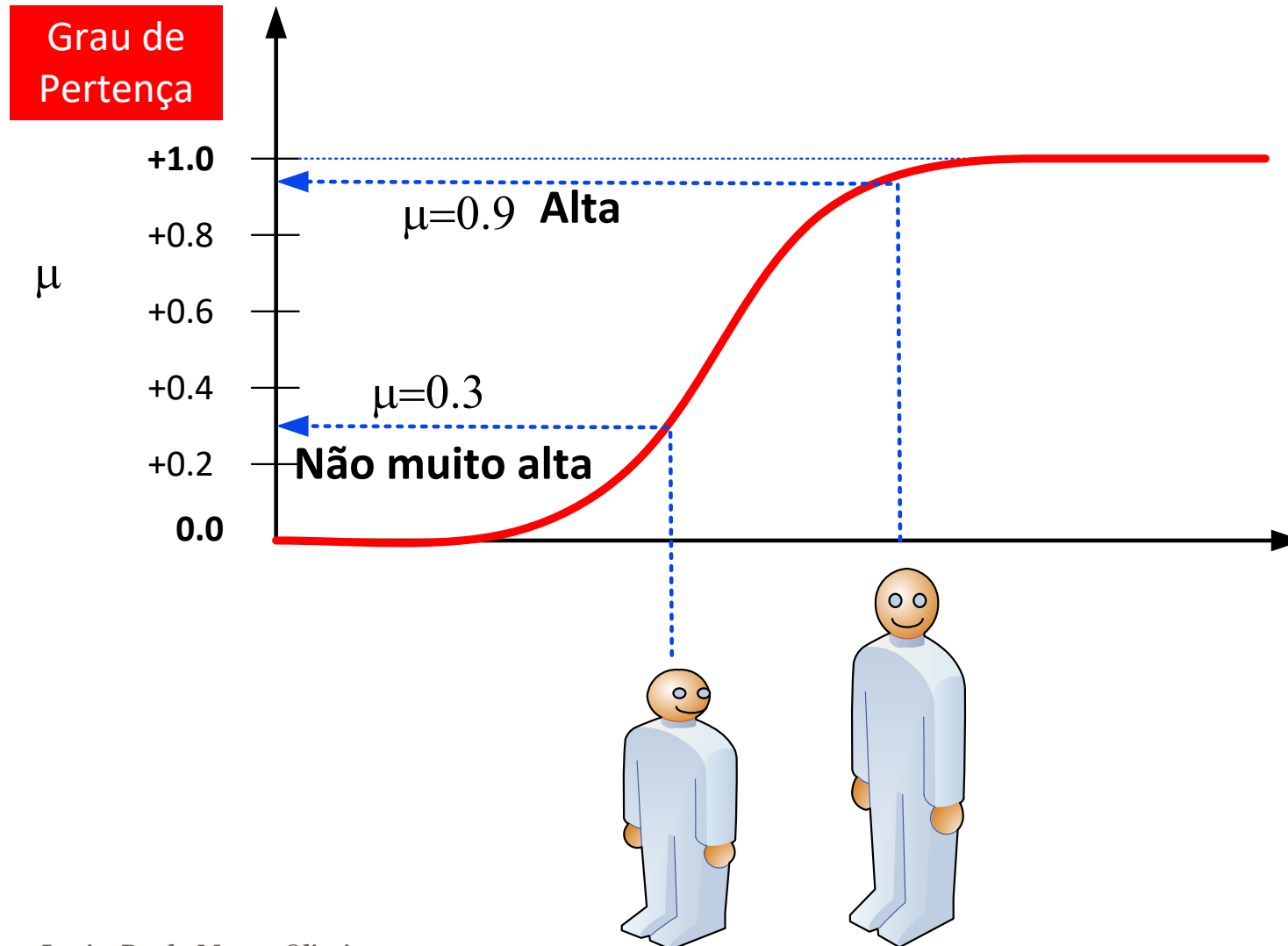
Função de Pertença (*Membership Function*)

- Apresentam-se de seguida vários exemplos de funções de partilha para classificar a altura de uma pessoa como alta de não alta.



Conjuntos Difusos (*Fuzzy Sets*)

Função de Pertença (*Membership Function*)



Conjuntos Difusos (*Fuzzy Sets*)

Função de Pertença (*Membership Function*)

- Um exemplo de **representação de um conjunto clássico** é:

$$A = \{x \mid x > 6\}$$

- Um exemplo de **representação de um conjunto difuso** é:

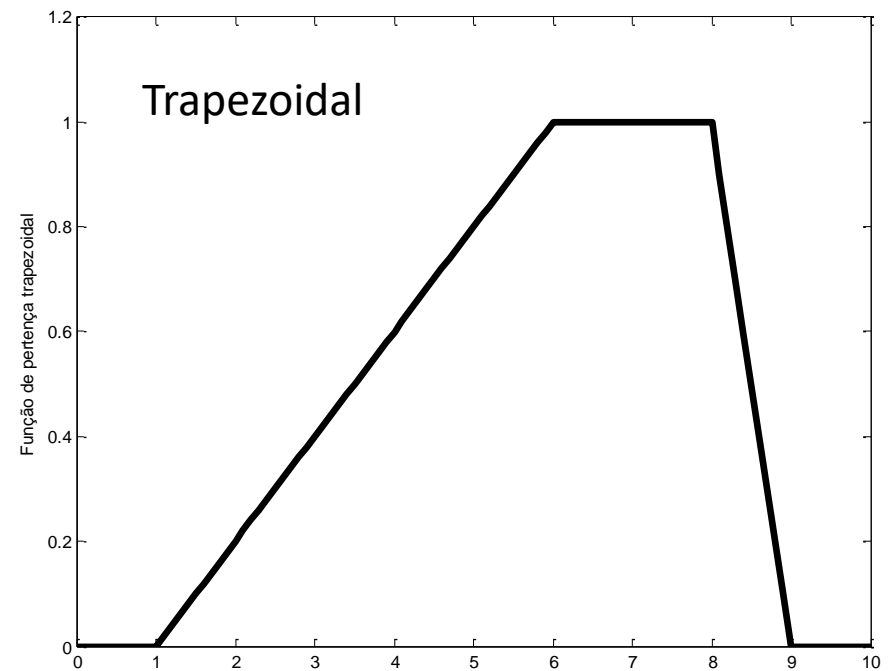
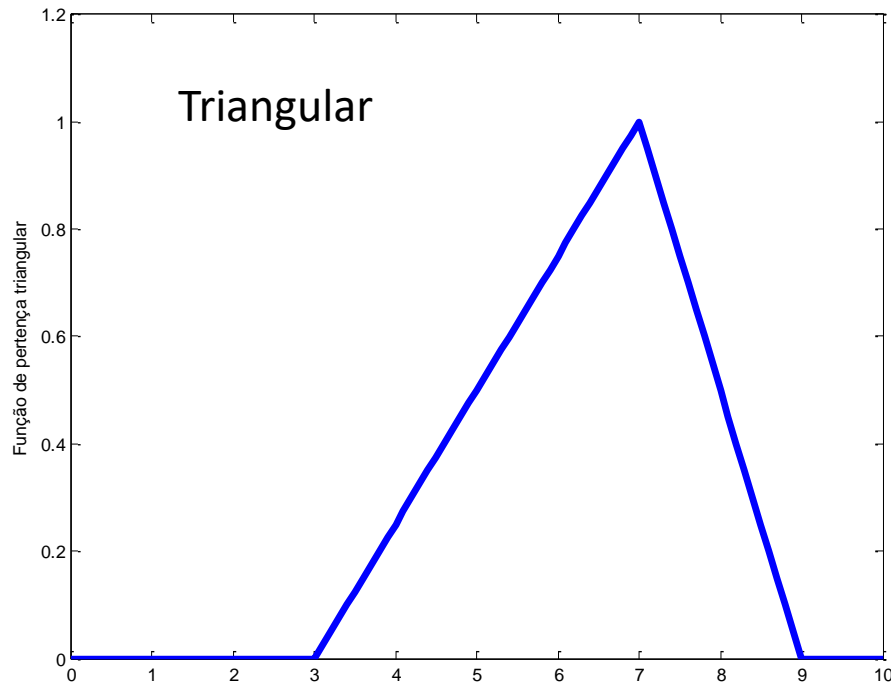
$$A = \{ \underbrace{x, \mu_A(x)}_{\substack{\uparrow \\ \text{Pares}}} \mid x \in \underbrace{X}_{\substack{\uparrow \\ \text{Universo de Entrada}}} \}$$

$\mu_A(x)$, *função de pertença de x em A*

Conjuntos Difusos (*Fuzzy Sets*)

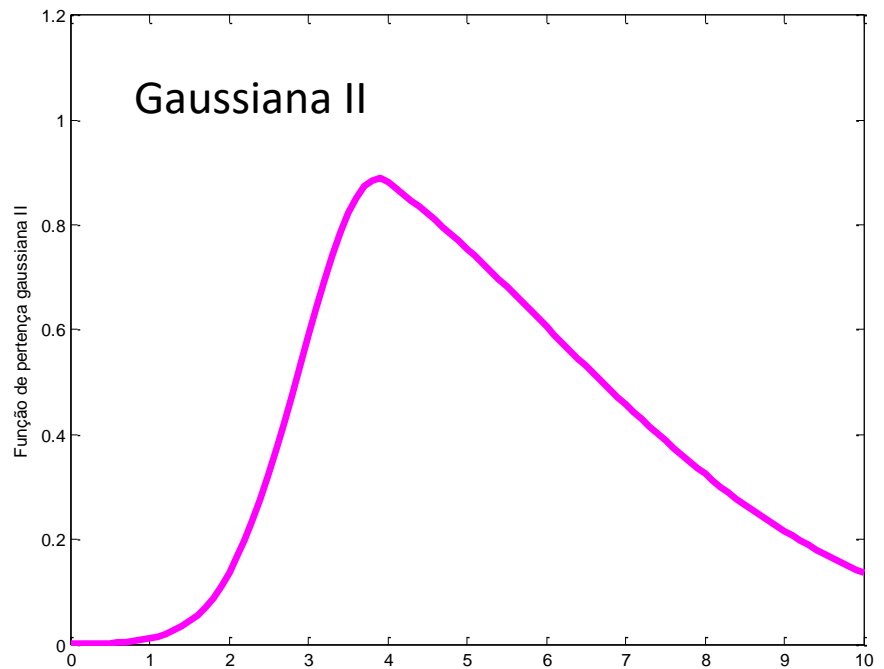
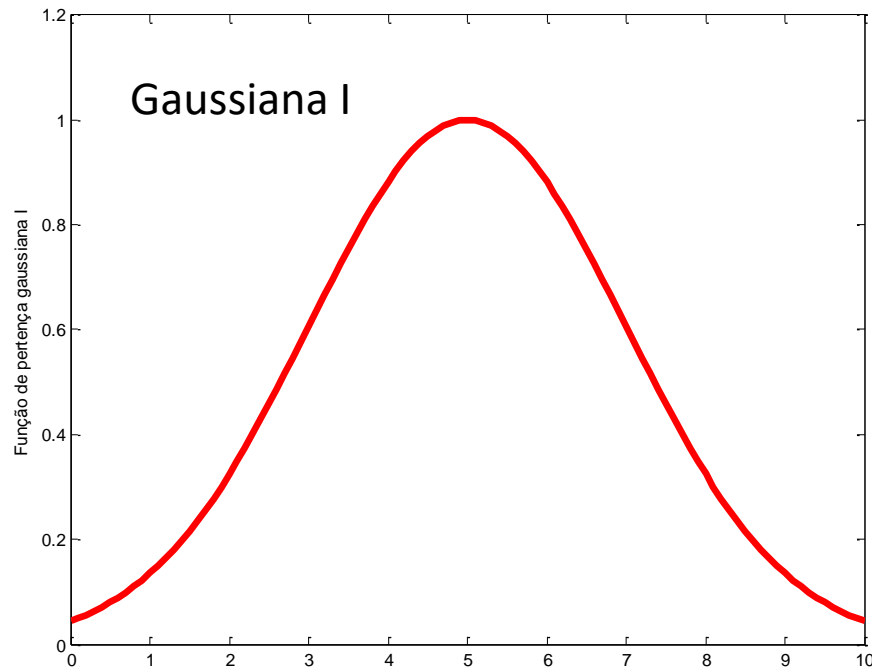
Função de Pertença (Membership Function)

➤ Exemplos de funções de pertença:



Conjuntos Difusos (*Fuzzy Sets*)

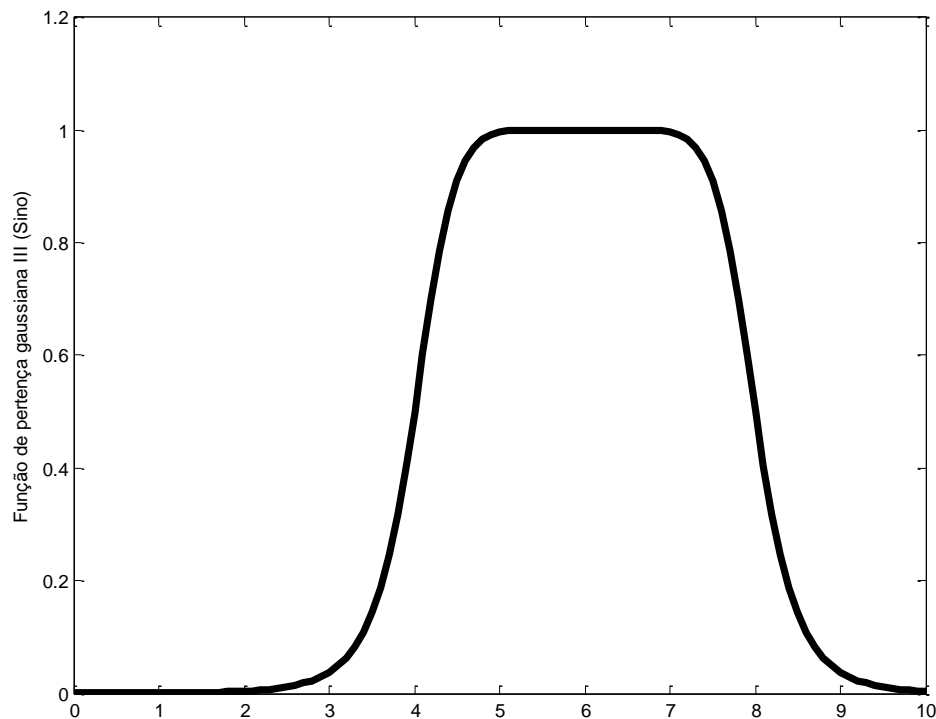
Função de Pertença (*Membership Function*)



Conjuntos Difusos (*Fuzzy Sets*)

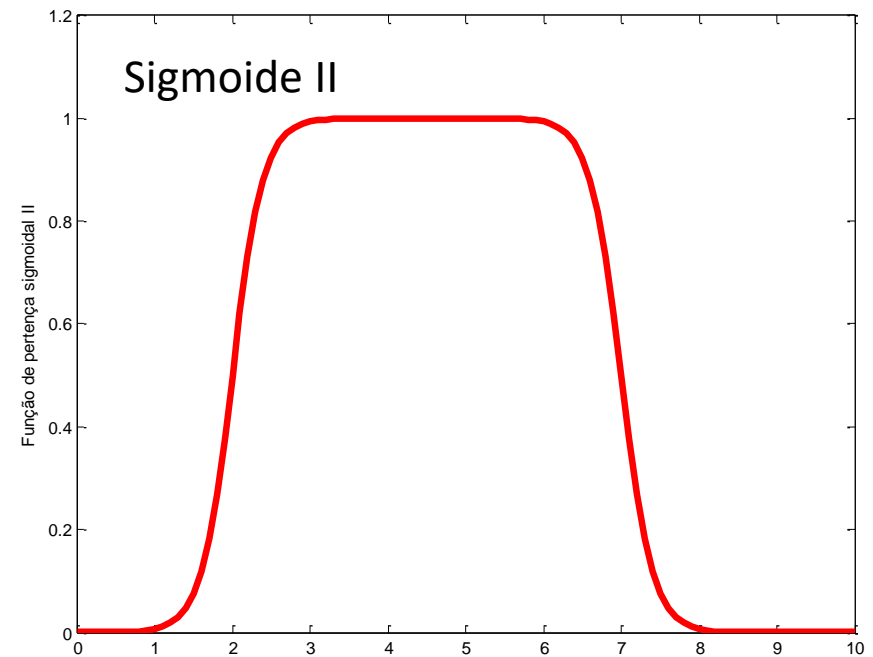
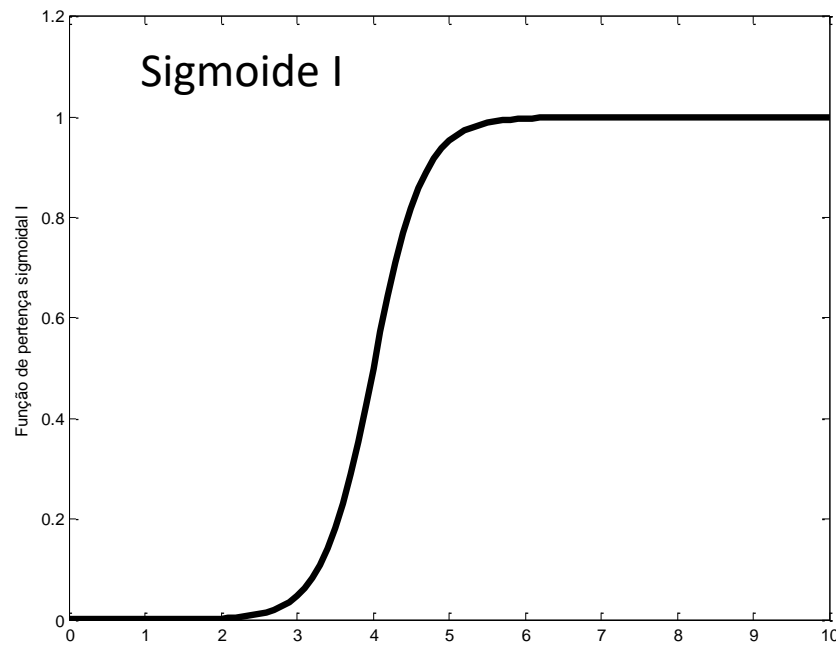
Função de Pertença (Membership Function)

Gaussiana IIII (tipo sino)



Conjuntos Difusos (*Fuzzy Sets*)

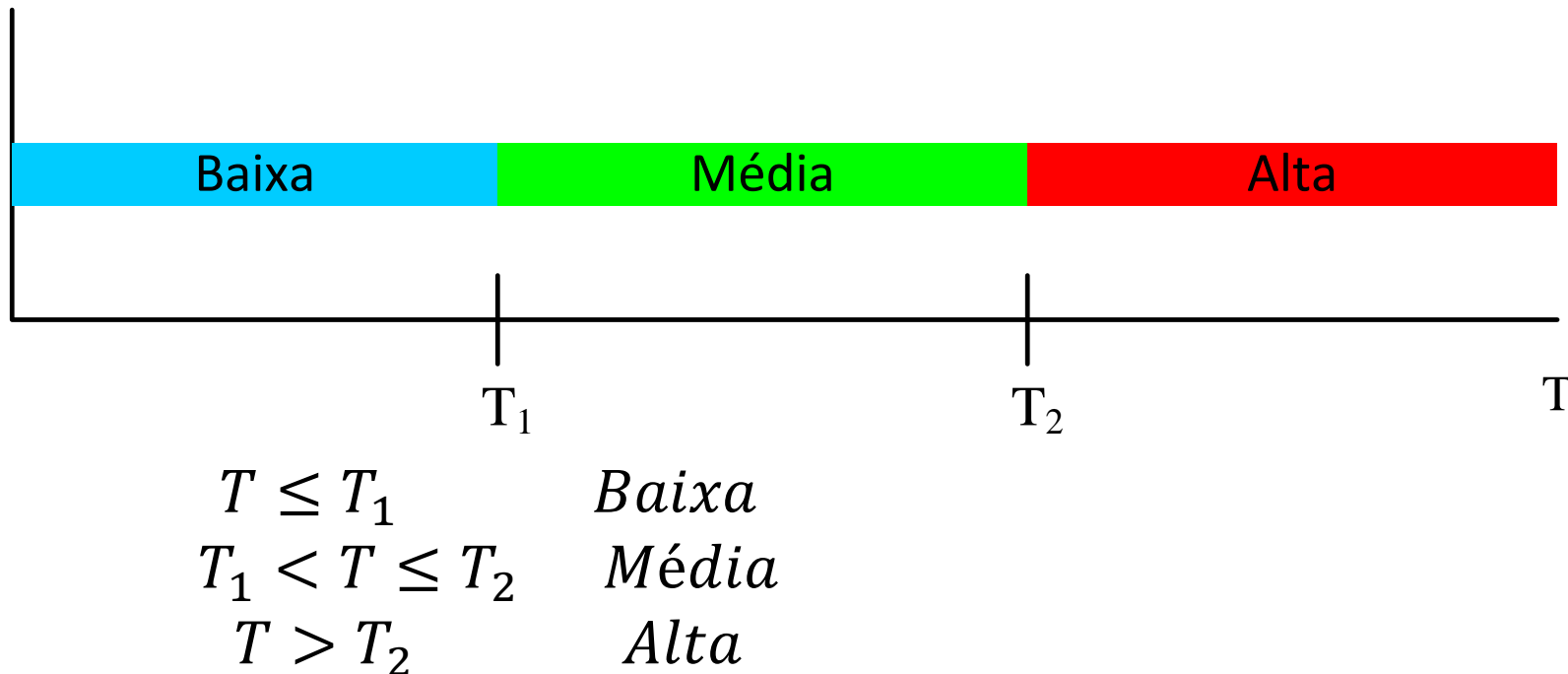
Função de Pertença (*Membership Function*)



Conjuntos Difusos (*Fuzzy Sets*)

Exemplo da Temperatura [*]

- ✓ Consideremos um exemplo clássico onde as noções de conjuntos podem ser vagas: avaliação da temperatura:



* Exemplo adaptado de: Jeffrey Johnson and Philip Picton “ Concepts on Artificial Intelligence”

Conjuntos Difusos (Fuzzy Sets)

Exemplo da Temperatura

$$\begin{array}{ll} T \leq T_1 & \text{Baixa} \\ T_1 < T \leq T_2 & \text{Média} \\ T > T_2 & \text{Alta} \end{array}$$

- ✓ Podemos considerar uma determinada temperatura como pertencendo somente a um destes conjuntos:

Temperatura	BAIXA	MÉDIA	ALTA
$T \leq T_1$	1	0	0
$T_1 < T \leq T_2$	0	1	0
$T > T_2$	0	0	1

Conjuntos Difusos (Fuzzy Sets)

Exemplo da Temperatura

✓ Representação gráfica:



Transições entre conjuntos muito abruptas:

e.g. Se **T1=12°C** uma temperatura de 11.999°C neste caso pertence ao conjunto Baixa.

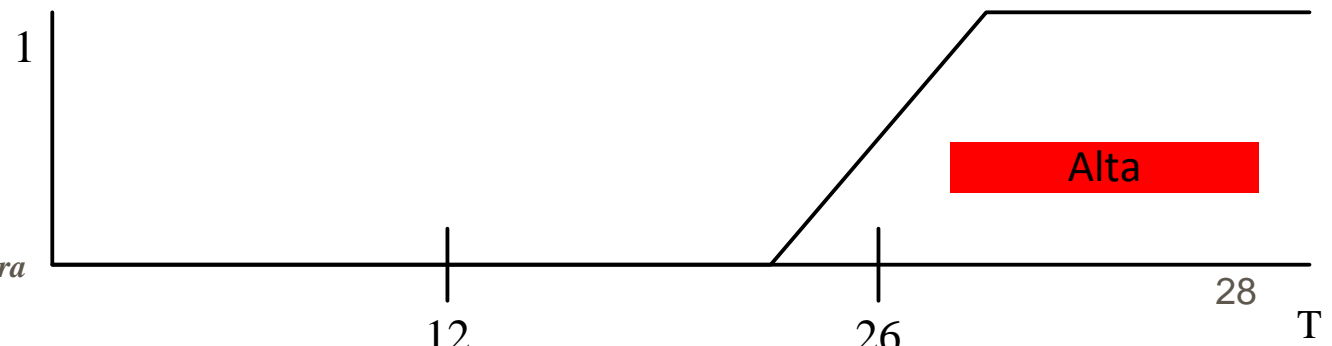
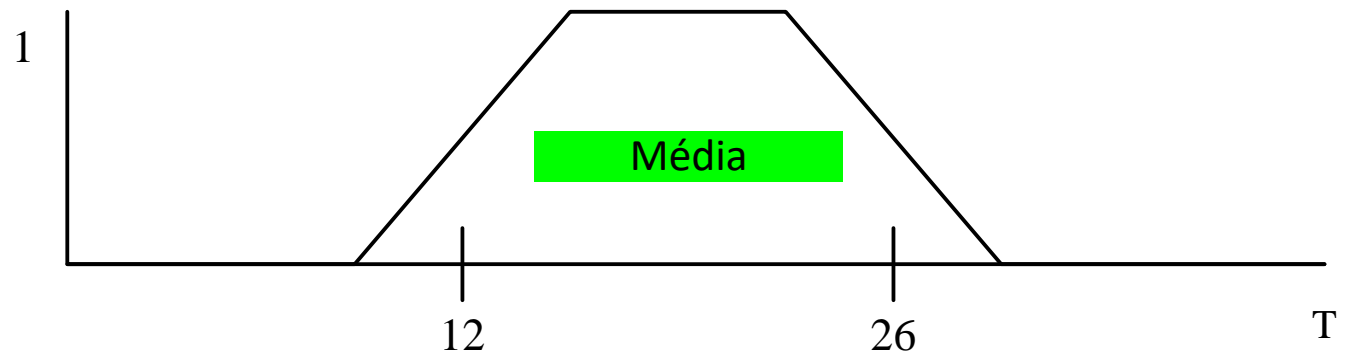
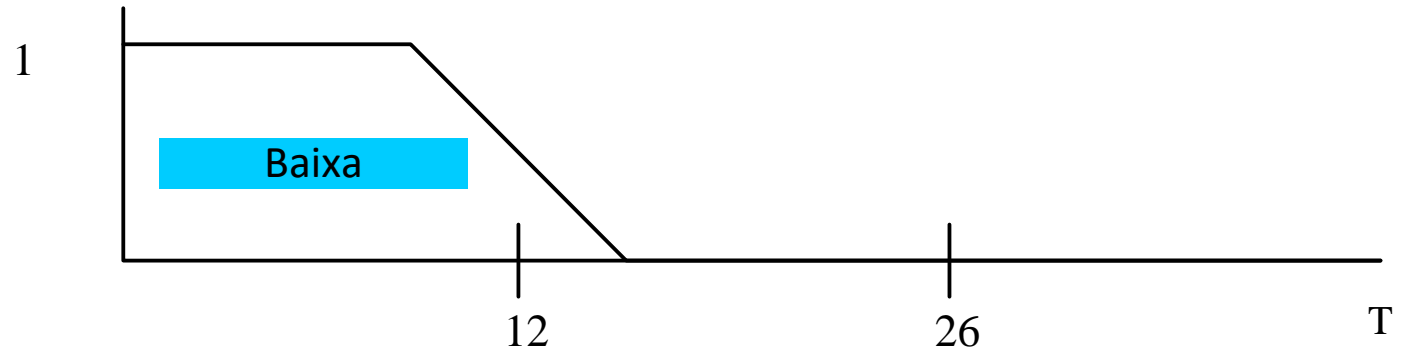
Conjuntos Difusos (Fuzzy Sets)

Exemplo da Temperatura

Na lógica difusa utilizam-se funções de pertinência que suavizem as zonas de transição dos conjuntos. As funções triangulares são um dos exemplos:

$T \leq 12$
 $12 < T \leq 26$
 $T > 26$

Baixa
Média
Alta



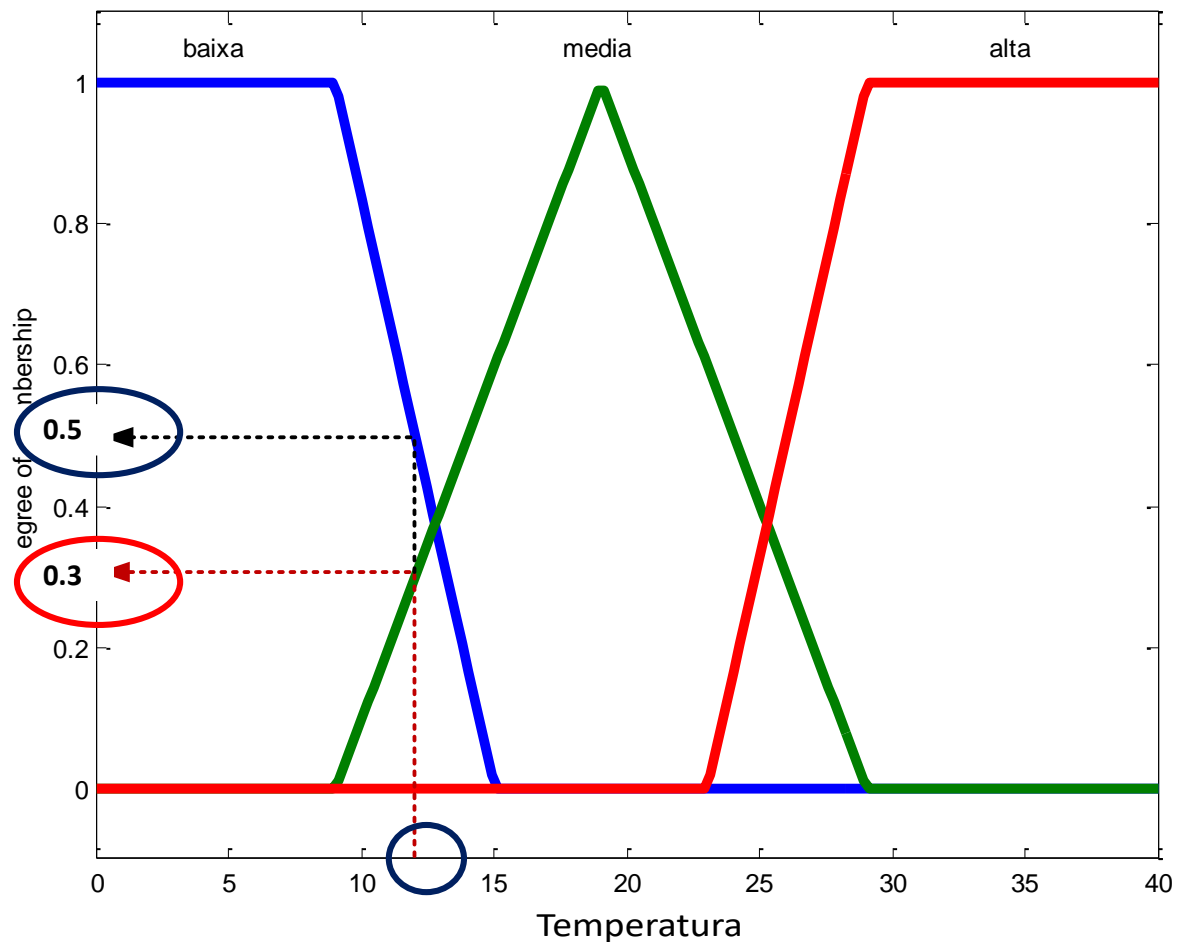
Conjuntos Difusos (Fuzzy Sets)

Exemplo da Temperatura

Na lógica difusa utilizam-se funções de pertinência que suavizem as zonas de transição dos conjuntos. As funções triangulares são um dos exemplos:

$T \leq 12$ *Baixa*
 $12 < T \leq 26$ *Média*
 $T > 26$ *Alta*

✓ Neste exemplo uma temperatura de 12°C é um membro do conjunto **média** com um grau de pertinência de **0.3** e do **Baixa** com **0.5**.



Lógica

Funções Lógicas Fundamentais

*Tabela da Verdade da
Função E(AND)*

A	B	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$$S = A \cdot B$$

*Tabela da Verdade da
Função OU (OR)*

A	B	S
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$$S = A + B$$

*Tabela da Verdade da
Função Negação (Not)*

A	S
0	1
1	0

$$S = \bar{A}$$

Que funções matemáticas preservam estas operações lógicas fundamentais e podem ser aplicadas a valores reais entre 0 e 1?

Lógica

Funções Lógicas

Tabela da Verdade da Função E(AND)

A	B	$S = \min(A, B)$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$$S = \min(A, B)$$

Tabela da Verdade da Função OU (OR)

A	B	$S = \max(A, B)$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$$S = \max(A, B)$$

Tabela da Verdade da Função Negação (Not)

A	$S = 1 - A$
0	1
1	0

$$S = 1 - A$$

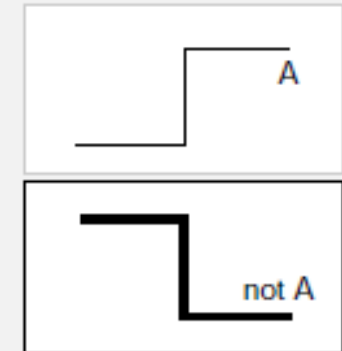
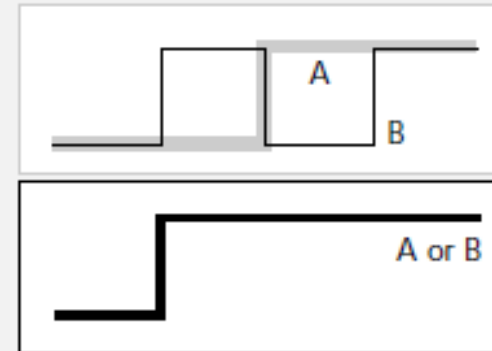
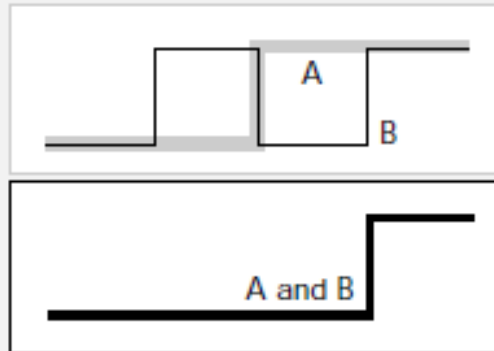
O que aconteceu às tabelas de verdade?

Notar que estas funções podem agora ser aplicadas a valores que não somente 0 e 1.

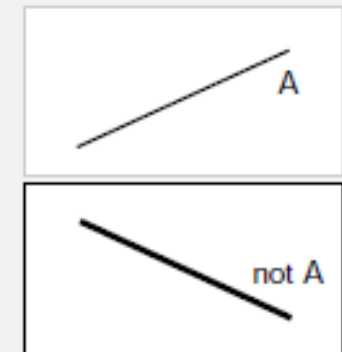
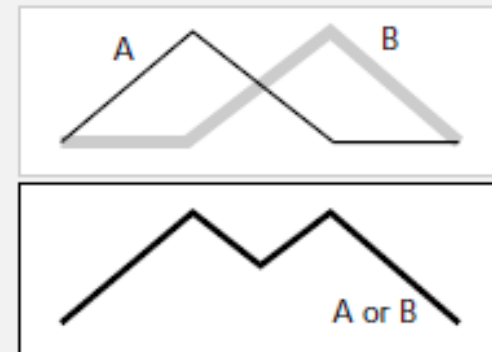
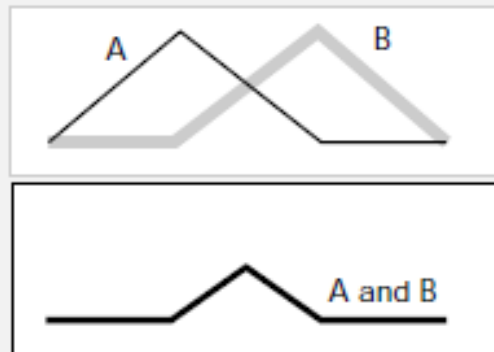
Lógica

Funções Lógicas

Two-valued
logic



Multivalued
logic



AND
 $\min(A,B)$

OR
 $\max(A,B)$

NOT
 $(1-A)$

Lógica

Operadores Difusos (*Fuzzy Operators*)

- Estabeleceu-se uma correspondência entre a lógica bivalente com a lógica difusa multivalente.

- Interseção difusa ou conjunção (**min**).
- União difusa ou disjunção (**max**)
- Complemento difuso (**complemento aditivo**)

- A interseção difusa entre dois conjunto difusos A e B é geralmente especificada por um mapeamento binário T:

$$\mu_{A \cap B}(x) = T(\mu_A(x), \mu_B(x))$$



Pode representar uma multiplicação entre os dois conjuntos e é conhecido como **T-norm (T de triangular)**

- A **união difusa entre dois conjunto difusos** A e B é geralmente especificada por um mapeamento binário S:

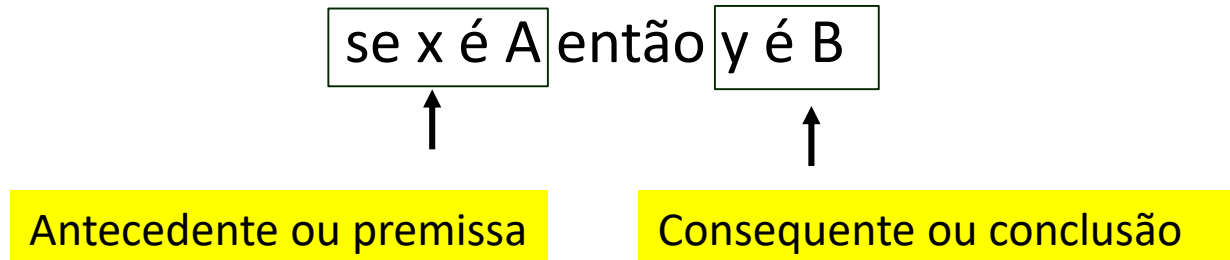
$$\mu_{A \cup B}(x) = S(\mu_A(x), \mu_B(x))$$

↑

Pode representar uma adição entre os dois conjuntos e é conhecido como **S-norm (ou T-conorm)**

Regras Se-Então (*If-Then Rules*)

- As regras assumem o tipo:



- ✓ Exemplo

*se o serviço é **bom** a gorjeta é **média***

Interpretação representada
por um **número entre 0 a 1**

Representado por um
conjunto difuso

- ✓ Enquanto na lógica binária: $p \rightarrow q$ (**p e q são ambos falsos ou ambos verdadeiros**)
- ✓ Na lógica difusa: $0.5p \rightarrow 0.5q$ (**antecedentes parciais fornecem implicações parciais**)

Regras Se-Então (*If-Then Rules*)

Fuzificação das entradas

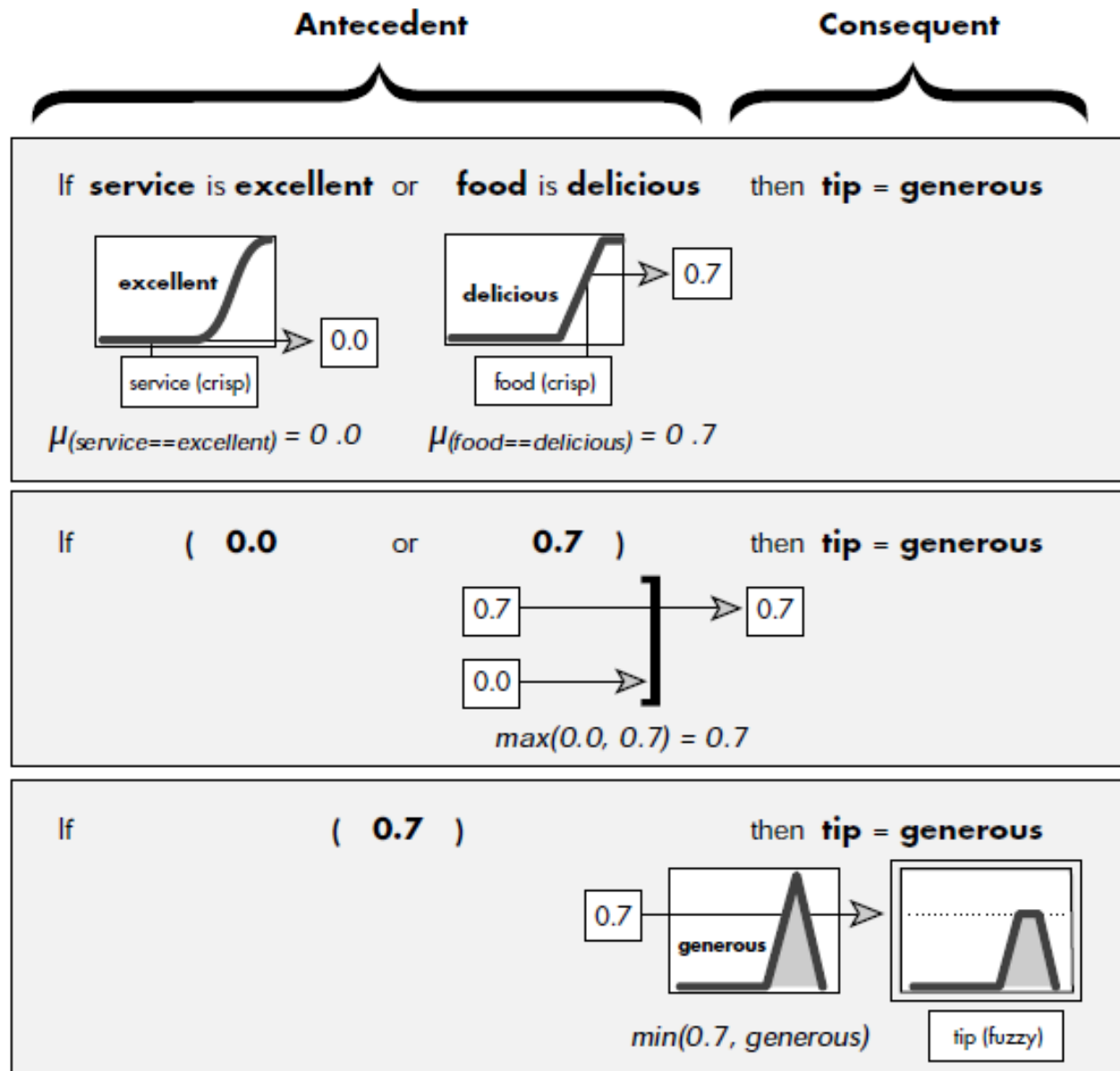
Aplicação do operador Fuzzy ao antecedente (OR-max)

Implicação (min)

1. Fuzzify inputs

2. Apply OR operator (max)

3. Apply implication operator (min)



Regras Se-Então (*If-Then Rules*)

1. Fuzificar as entradas

Transformar todas as frases difusas num grau de pertença entre 0-1

2. Aplicar o operador difuso a partes múltiplas do antecedente da regra

Se há partes múltiplas no antecedente aplicam-se operadores lógicos para obter um único número entre 0-1

3. Aplicar método de implicação

Molda-se o conjunto difuso de saída através de uma função de pertença

- ✓ Geralmente uma única regra não resolve o problema, sendo preciso mais do que uma.
- ✓ Os **conjuntos difusos** que resultam de cada regra são **agregados** num único conjunto
- ✓ Finalmente o conjunto difuso resultante é **desfusificado** resultando num só valor numérico.

Sistemas de Inferência Difusos

A inferência difusa (*fuzzy*) é o processo de mapear um dada entrada com uma determinada saída utilizando lógica difusa.

- Este mapeamento permite fornecer bases para tomar decisões ou reconhecer padrões .

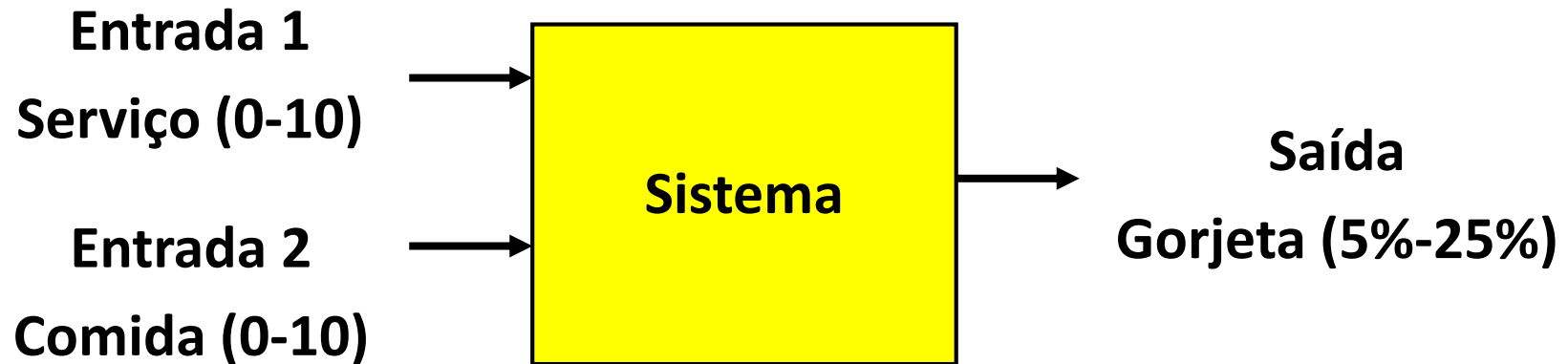
Dois tipos de sistemas de inferência difusa de referência são:

- Tipo Mandani (mais utilizado)
- Tipo Sugeno

Sistemas de Inferência Difusos

Exemplo da Gorjeta

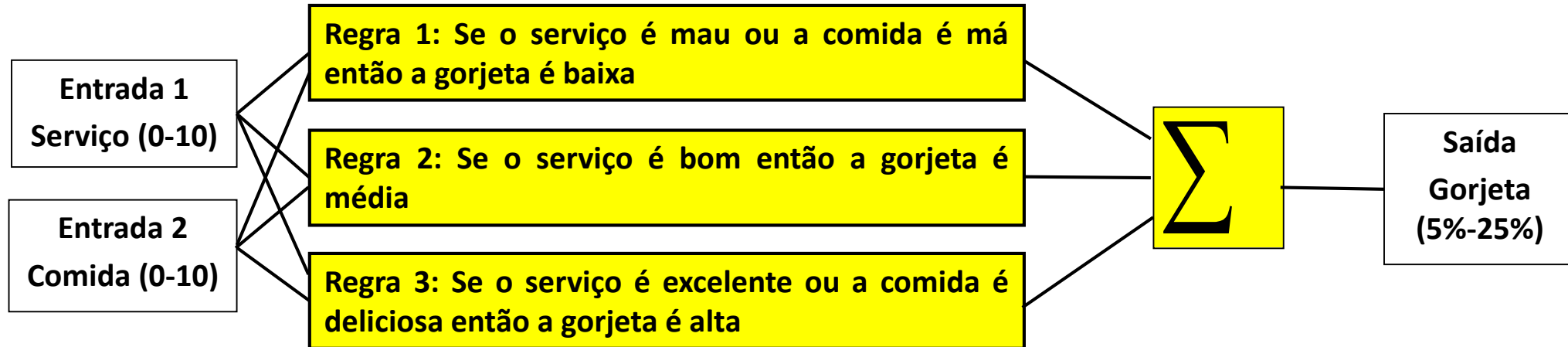
- ✓ A estrutura deste sistema difuso é a seguinte:



Sistemas de Inferência Difusos

Exemplo da Gorjeta

- ✓ A estrutura deste sistema difuso é o seguinte:



- ✓ O processo de inferência pode ser organizado em 5 partes:
1. Fuzificação das entradas
 2. Aplicação do operador Fuzzy ao antecedente (AND, OR)
 3. Implicação do antecedente no consequente
 4. Agregação dos consequentes das várias regras
 5. Desfuzificação

Sistemas de Inferência Difusos

Exemplo da Gorjeta

1. Fuzificação das entradas

1. Fuzzify inputs.



0.7 $\mu = 0.7$
Result of fuzzification

food is delicious

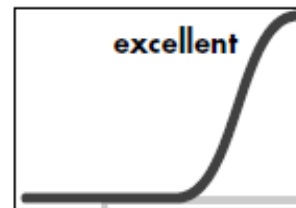
food = 8

input

2. Aplicar o operador Fuzzy

- ✓ Há vários operadores para o AND e OR. Considerando o exemplo da aplicação do OR à regra 3 com o operador *max*, resulta no seguinte:

1. Fuzzify inputs.



0.0



2. Apply OR operator (max).

0.7

0.0

0.7

result of fuzzy operator

service is excellent

or

food is delicious

service = 3

food = 8

input 1

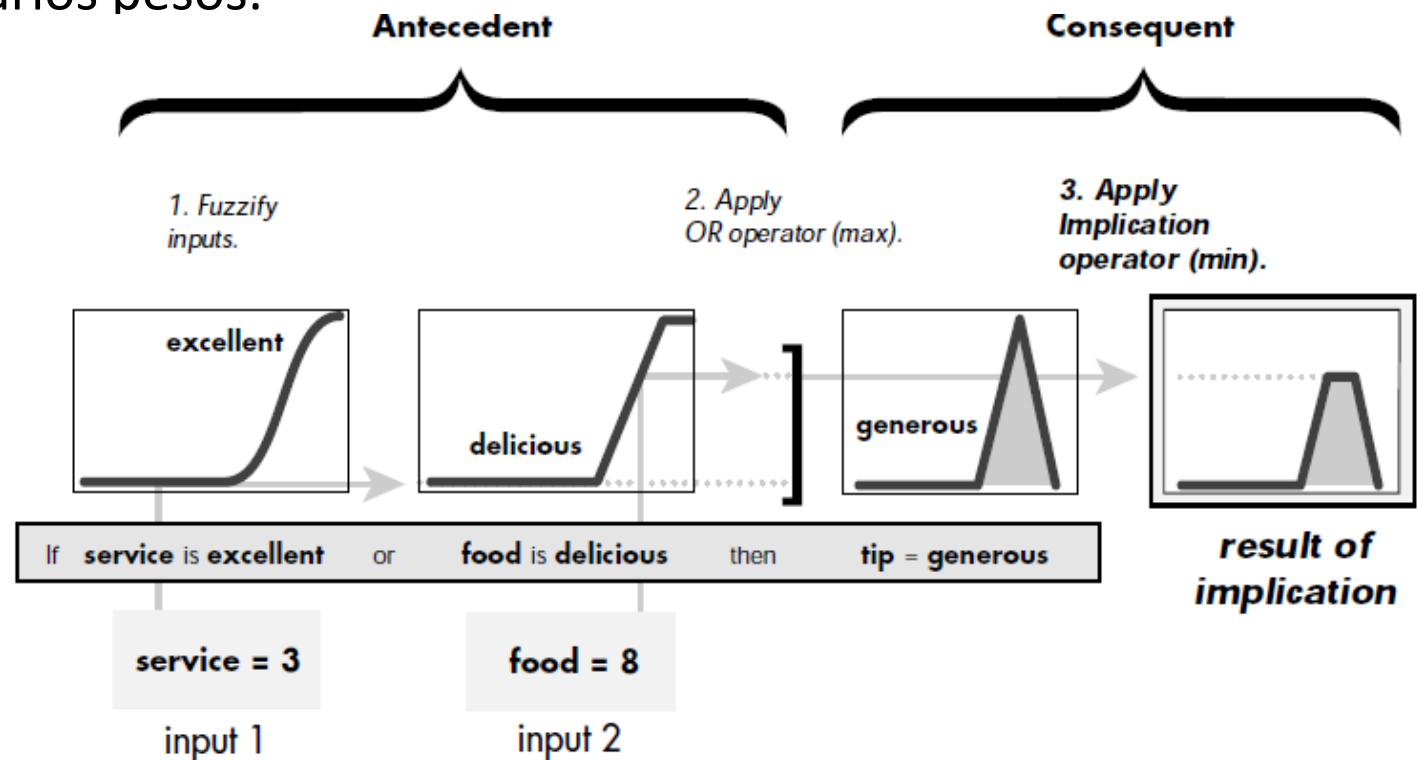
input 2

Sistemas de Inferência Difusos

Exemplo da Gorjeta

3. Aplicar o método de implicação

- ✓ De uma forma geral cada regra tem um peso associado (0-1). Neste caso todas as três regras têm a mesma ponderação (1). Mas noutros exemplos é comum testar vários pesos.



Número

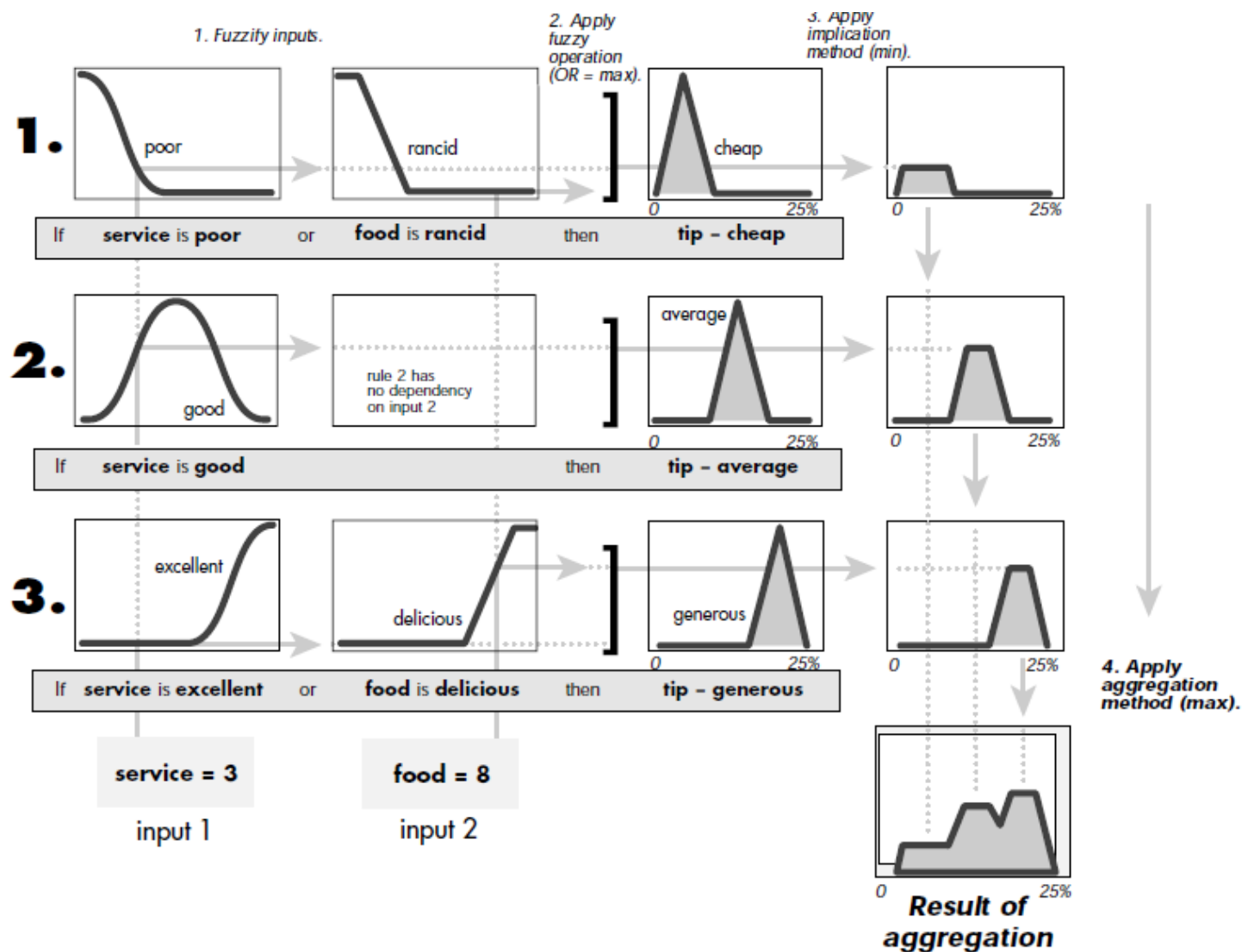
Conjunto Difuso

Sistemas de Inferência Difusos

Exemplo da Gorjeta

✓ Há vários métodos que podem ser aplicados (comutativamente) para agregar as saídas (*max*, ou *probabilístico*, *soma*),

4. Agregar todas as Saídas



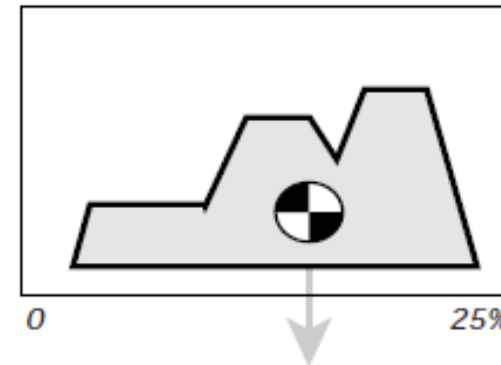
Sistemas de Inferência Difusos

Exemplo da Gorjeta

5. *Desfuzificar*

- ✓ Há vários métodos que podem ser aplicados (comutativamente) para *desfuzificar* o conjunto difuso que resulta da agregação.

Um dos mais populares é o método do centroide da área delimitada pela curva.



tip = 16.7%

**Result of
defuzzification**

5. Defuzzify the
aggregate output
(centroid).

Desfuzificação (Defuzzification)

- ✓ A forma mais comum de *desfuzificar* consiste em determinar o centro de gravidade considerando todas as áreas delimitadas pelas curvas dos conjuntos difusos.
- ✓ Assumindo:
 - Curva 1: área A_1 e centro de gravidade em x_1
 - Curva 2: área A_2 e centro de gravidade em x_2

Então o centro de gravidade das duas áreas é o ponto c :

$$cA_1 - x_1A_1 = x_2A_2 - cA_2$$

$$c(A_1 + A_2) = x_1A_1 + x_2A_2$$

$$c = \frac{x_1A_1 + x_2A_2}{(A_1 + A_2)}$$

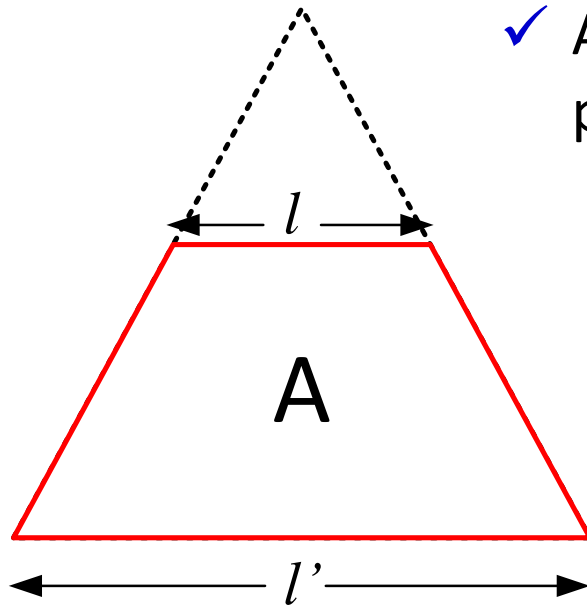
Generalizando:

$$c = \frac{\sum x_i A_i}{\sum A_i}$$

Desfuzificação (Defuzzification)

- ✓ O cálculo do centro de gravidade de uma curva genérica pode ser simplificado pela utilização de funções de pertença com curvas simétricas, pois o centro de gravidade localiza-se no eixo de simetria da curva.

$$\text{Centro de Gravidade} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{centro de gravidade}_i \times \text{area sob a curva}_i}{\sum_{i=1}^n \text{area sob a curva}_i}$$



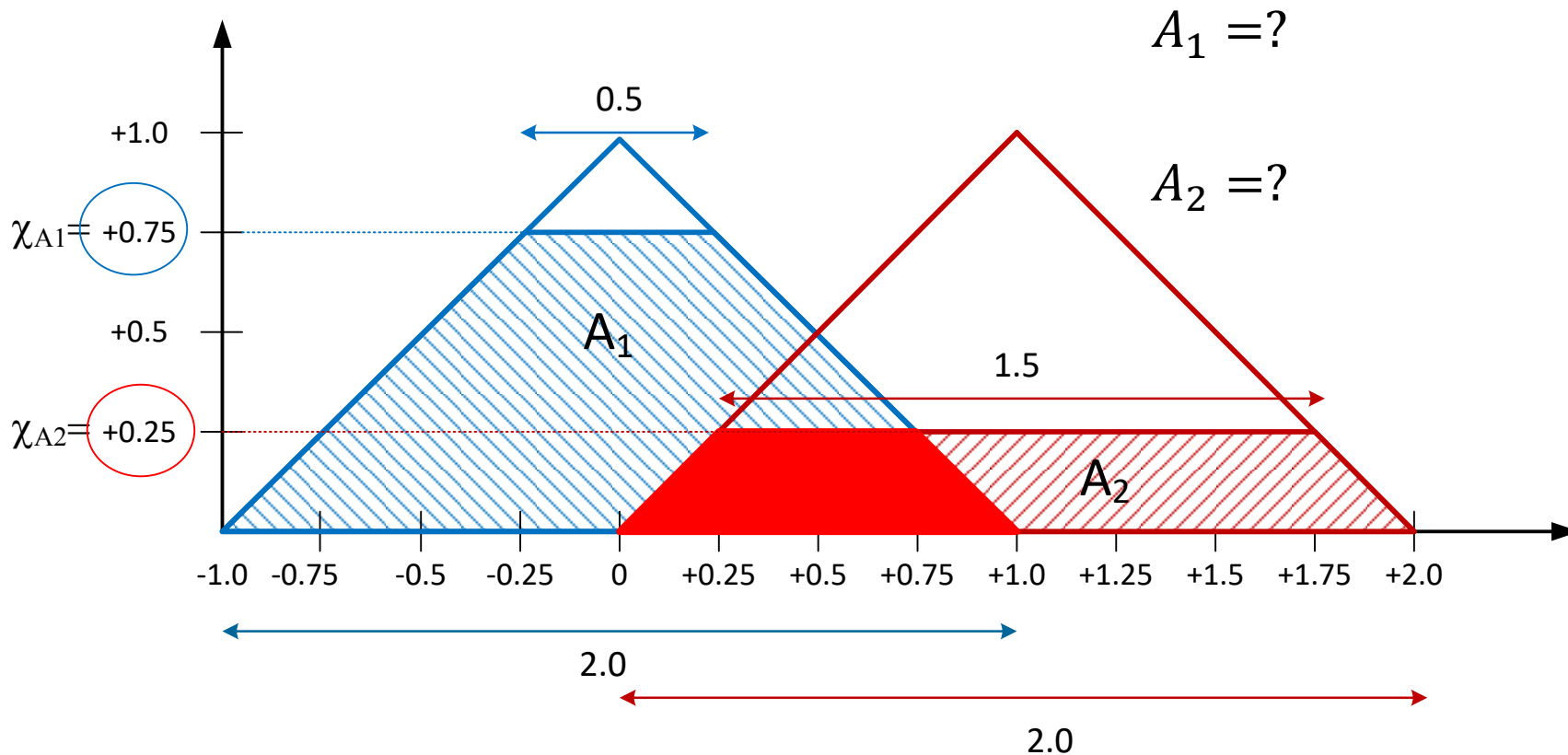
- ✓ Área de um trapézio com altura h e lados l e l' pode ser calculada como:

$$A_i = \frac{(l + l')h_i}{2}$$

Desfuzificação (Defuzzification)

✓ Considere-se o seguinte exemplo:

$$A_i = \frac{(l + l')h_i}{2}$$

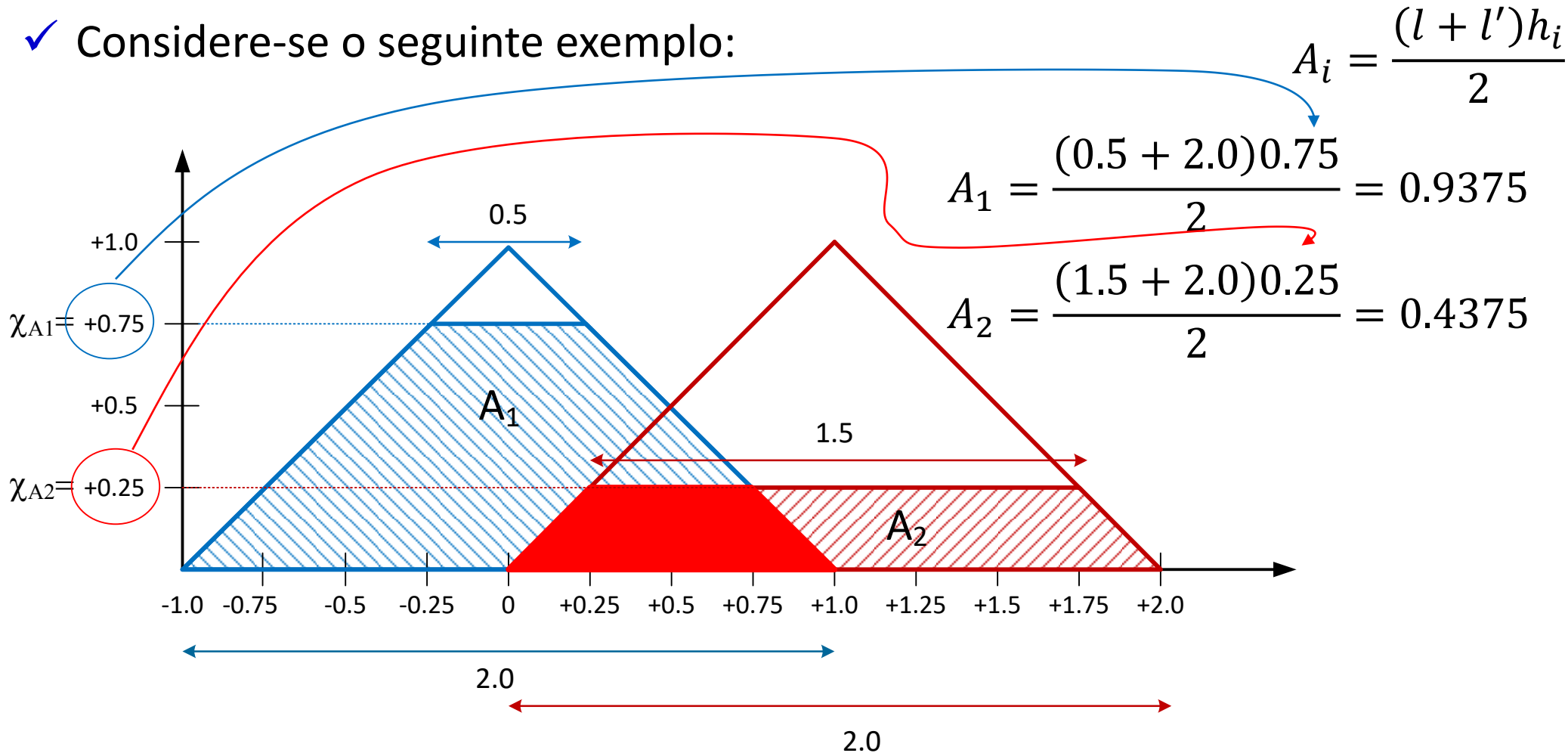


centro de gravidade =?

$$c = \frac{\sum x_i A_i}{\sum A_i}$$

Desfuzificação (Defuzzification)

✓ Considere-se o seguinte exemplo:

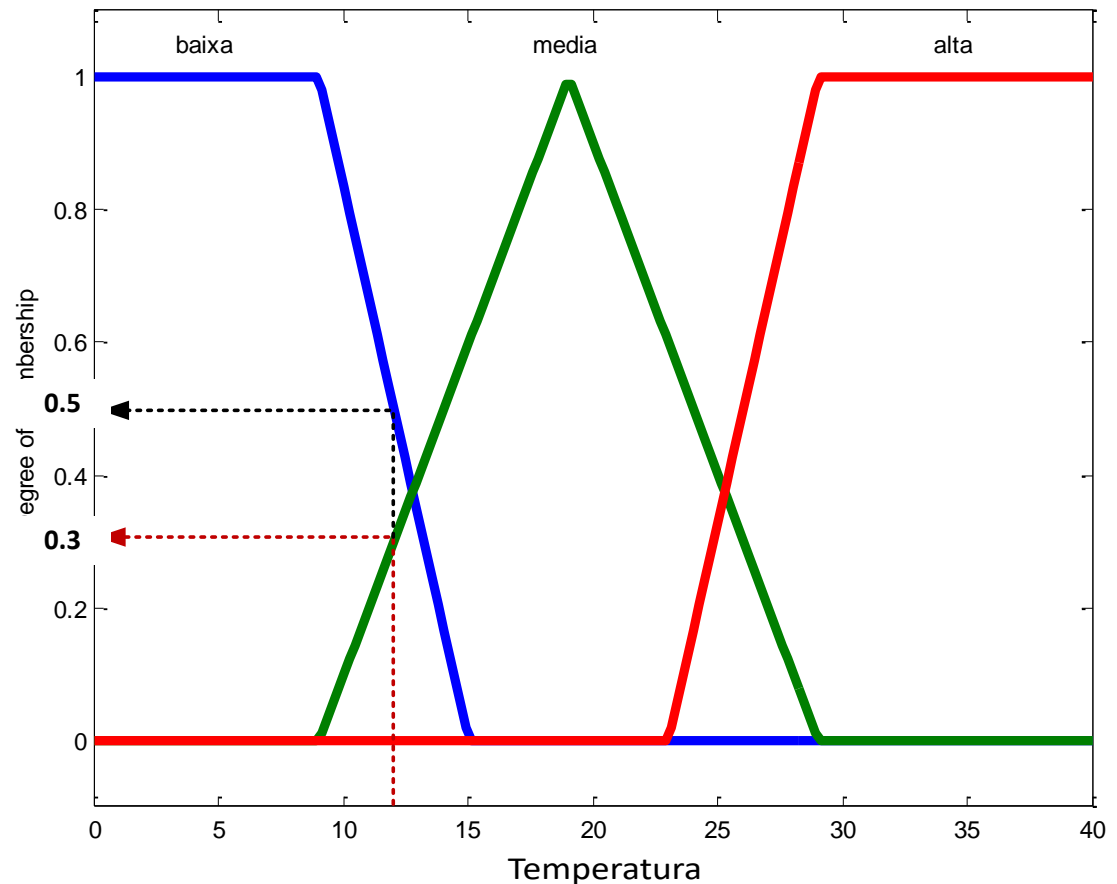


$$\text{centro de gravidade} = \frac{(0.0 \times 0.9375) + (1.0 \times 0.4375)}{(0.9375 + 0.4375)} = 0.318$$

Desfuzificação (Defuzzification)

Exemplo da Temperatura (Cont.)

- ✓ Consideremos as seguintes regras:
1. Se a **temperatura é baixa** então o **aquecimento é alto**
 2. Se a **temperatura é média** então o **aquecimento é médio**
 3. Se a **temperatura é alta** então o **aquecimento é desligado**

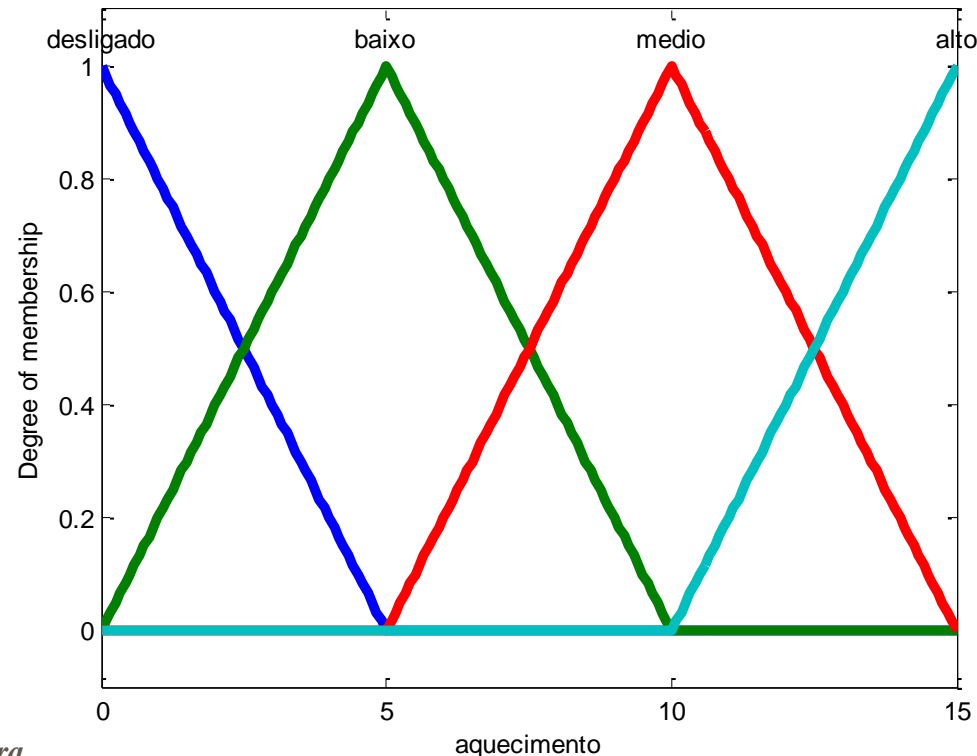


Desfuzificação (Defuzzification)

Exemplo da Temperatura (Cont.)

✓ Consideremos as seguintes regras:

1. Se a **temperatura é baixa** então o **aquecimento é alto**
2. Se a **temperatura é média** então o **aquecimento é médio**
3. Se a **temperatura é alta** então o **aquecimento é desligado**

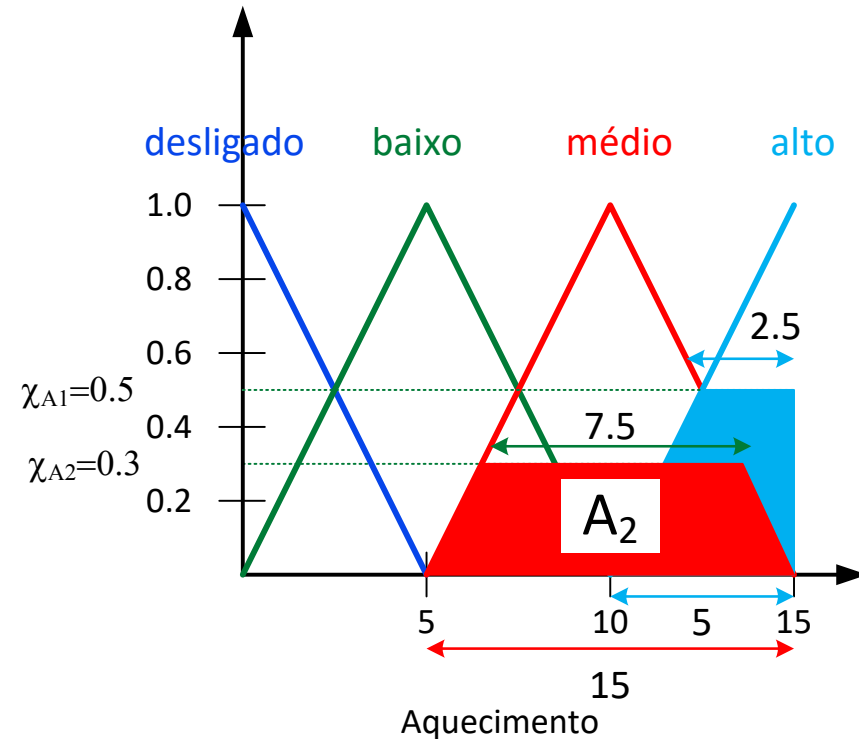
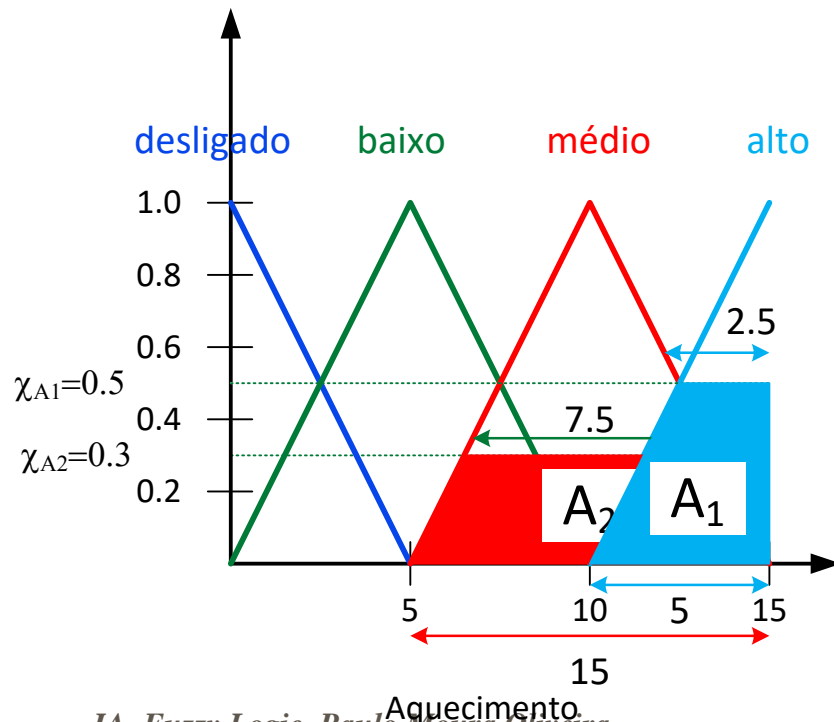


Desfuzificação (Defuzzification)

Exemplo da Temperatura (Cont.)

✓ Cálculo do centro de gravidade:

$$A_2 = \frac{(7.5 + 15) \times 0.3}{2} = 3.375$$



$$A_1 = \frac{(5 + 10) \times 0.5}{4} = 1.875$$

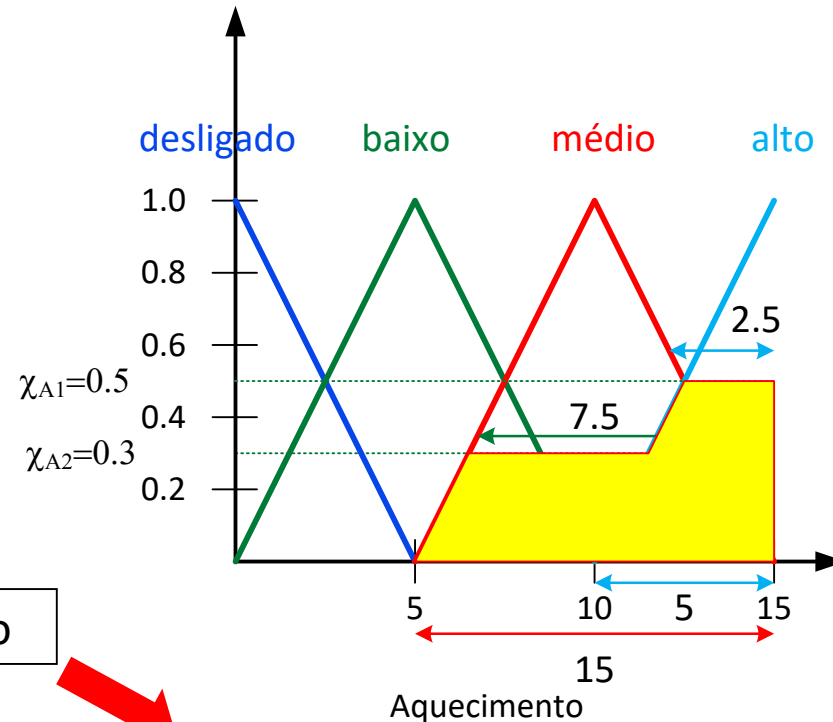
Desfuzificação (Defuzzification)

Exemplo da Temperatura (Cont.)

✓ Cálculo do centro de gravidade:

$$A_1 = \frac{(5 + 10) \times 0.5}{4} = 1.875$$

$$A_2 = \frac{(7.5 + 15) \times 0.3}{2} = 3.375$$



Valor aproximado

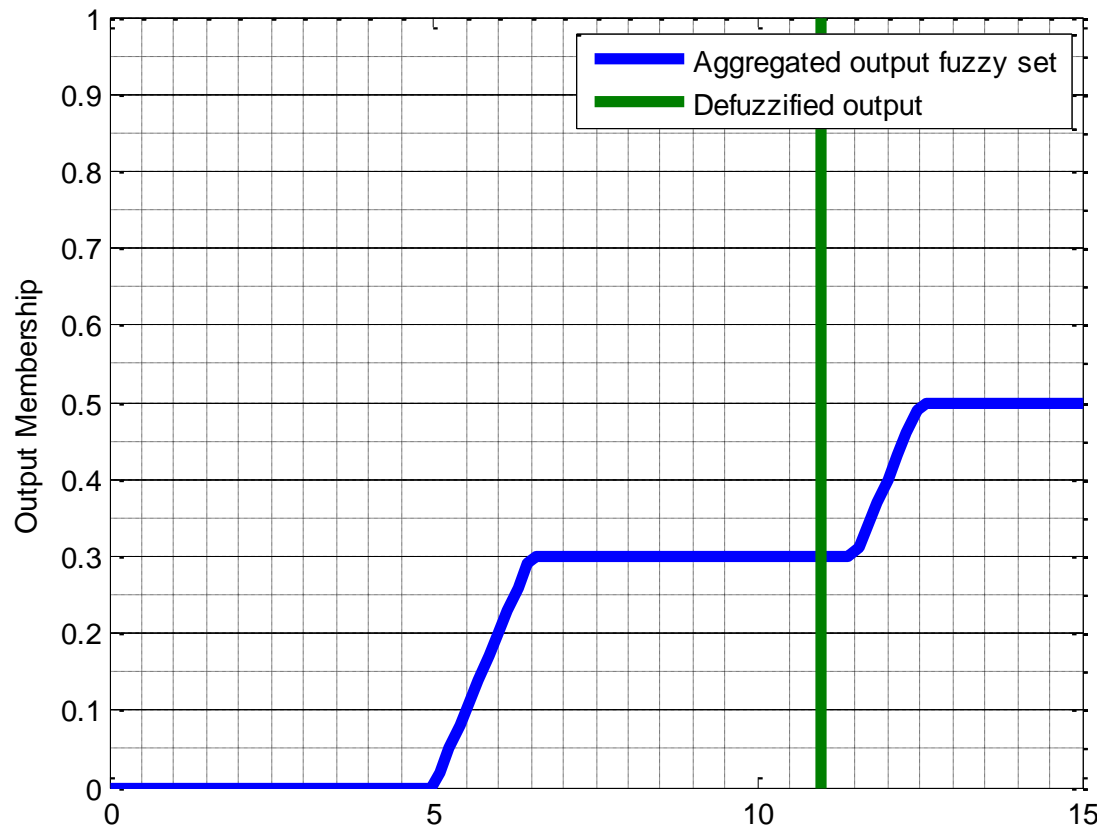
$$\text{centro de gravidade} = \frac{(10 \times 3.375) + (13 \times 1.875)}{(3.375 + 1.875)} = 11.07$$

Desfuzificação (Defuzzification)

Exemplo da Temperatura (Cont.)

Valor aproximado

$$\text{centro de gravidade} = \frac{(10 \times 3.375) + (13 \times 1.875)}{(3.375 + 1.875)} = 11.07$$

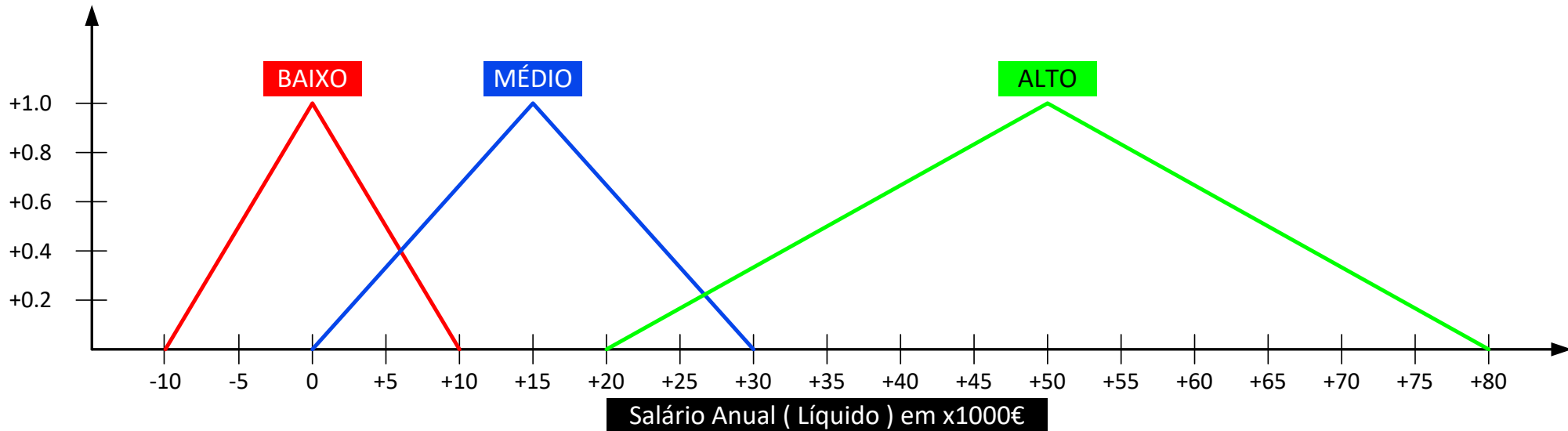


- ✓ Para uma temperatura de 12°C o aquecimento vai estar ligado na posição 11.

Desfuzificação (Defuzzification)

Exemplo do Salário

- ✓ Considere-se o seguinte exemplo de conjuntos que permitem determinar o valor do salário anual (com valores hipotéticos) dum funcionário.



- ✓ Vamos considerar um conjunto de regras que permita definir o valor de pertença a cada um destes conjuntos para um dado funcionário.

Desfuzificação (Defuzzification)

Exemplo do Salário

✓ Considerem-se as seguintes regras:

1. Se o funcionário é altamente especializado
e tem grandes responsabilidades
e consegue atrair novos negócios
então esse funcionário recebe um **salário alto**

2. Se o funcionário é altamente especializado
e faz bem o seu trabalho
então esse funcionário recebe um salário **médio**

3. Se o funcionário é pouco especializado
e não tem experiência
então esse funcionário recebe um salário **baixo**

Desfuzificação (Defuzzification)

Exemplo do Salário

Caso do funcionário **X**:

- Pouco especializado: 0.9 (Altamente especializado: 0.1)
- Pouca responsabilidade: 0.1
- Não atrai novos negócios: 0.0
- Faz o seu trabalho razoavelmente: 0.5
- Não é muito experiente: 0.6

✓ Quanto ganha o funcionário **X**, neste sistema Fuzzy?

Desfuzificação (Defuzzification)

Exemplo do Salário

- Pouco especializado: 0.9 (Altamente especializado: 0.1)
- Pouca responsabilidade: 0.1
- Não atrai novos negócios: 0.0
- Faz o seu trabalho razoavelmente: 0.5
- Não é muito experiente: 0.6

1. Se o funcionário é altamente especializado e tem grandes responsabilidades e consegue atrair novos negócios **então** esse funcionário recebe um **salário alto**

0.1
0.1
0.0
0.0

$$\text{Min}(0.1, 0.1, 0.0) = 0.0$$

2. Se o funcionário é altamente especializado e faz bem o seu trabalho **então** esse funcionário recebe um salário **médio**

0.1
0.5
0.1

$$\text{Min}(0.1, 0.5) = 0.1$$

3. Se o funcionário é pouco especializado e não tem experiência **então** esse funcionário recebe um salário **baixo**

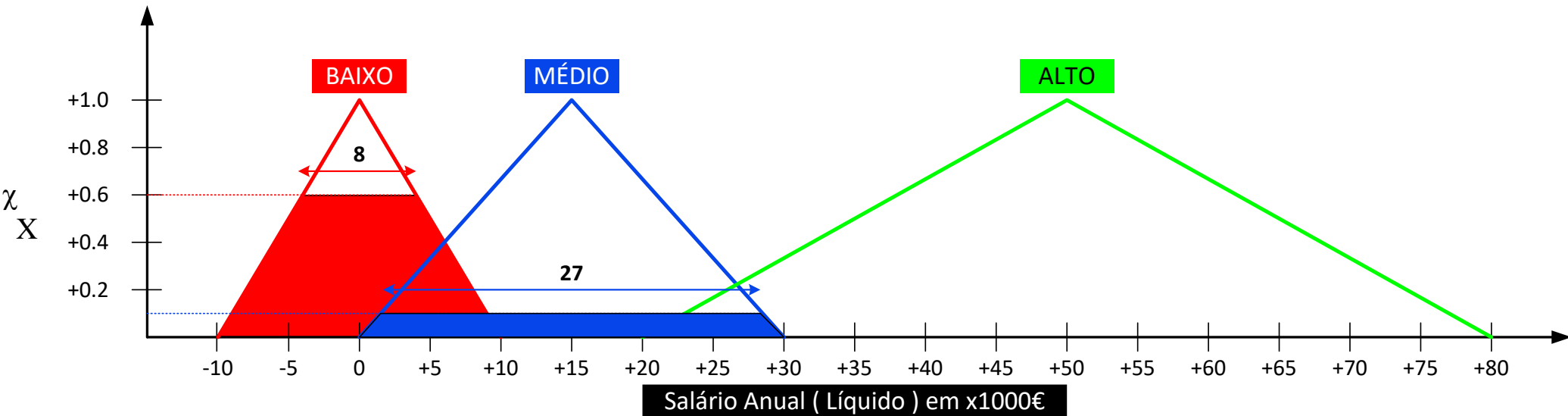
0.9
0.6
0.6

$$\text{Min}(0.9, 0.6) = 0.6$$

Desfuzificação (Defuzzification)

Exemplo do Salário

✓ Só é necessário calcular as áreas nos conjuntos do salário baixo e médio:



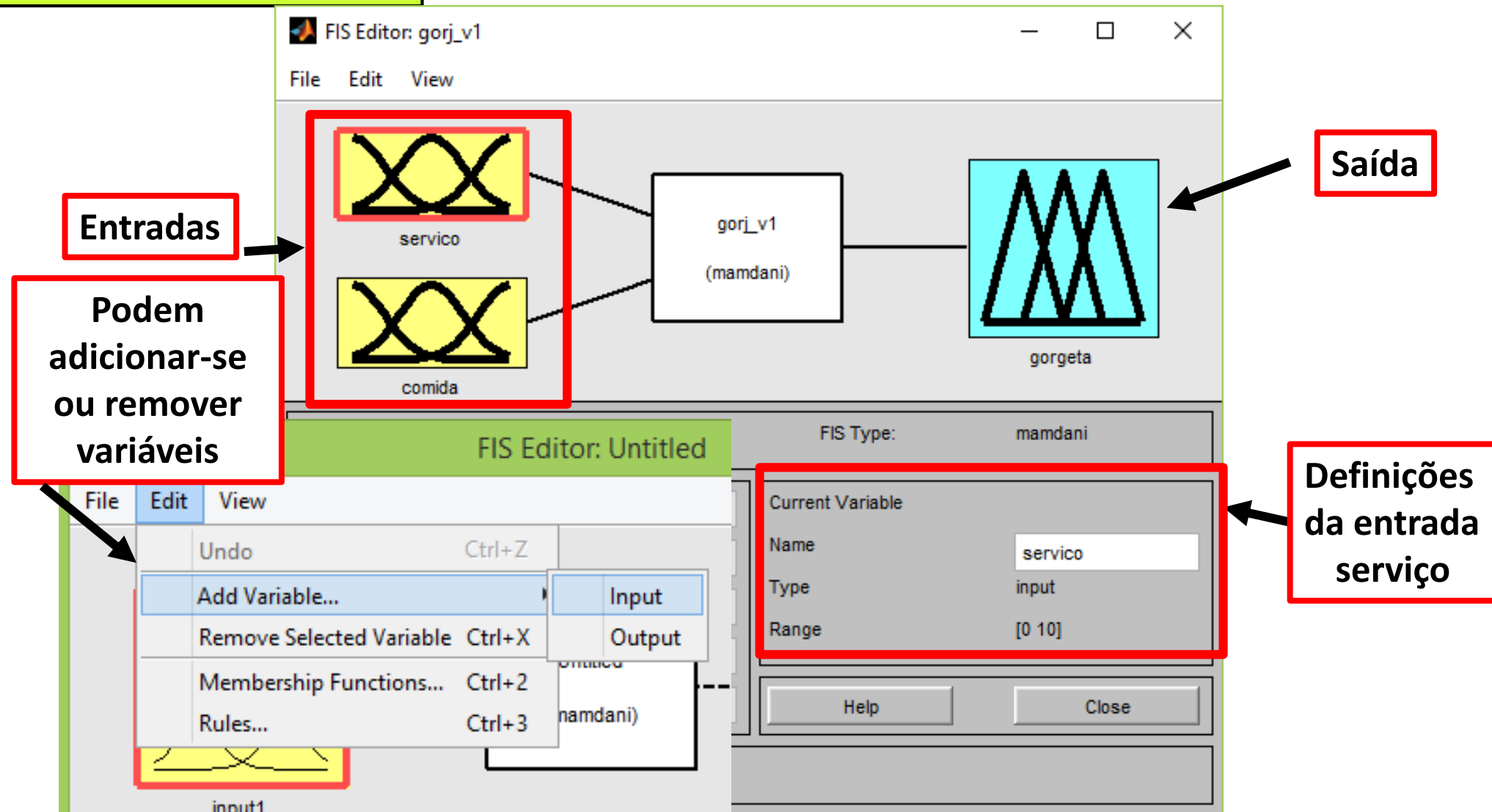
$$A_{Baixo} = \frac{(8 + 20) \times 0.6}{2} = 8.4$$

$$A_{Médio} = \frac{(27 + 30) \times 0.1}{2} = 2.85$$

$$\text{salário de } A = \frac{(0 \times 8.4) + (15 \times 2.85)}{(8.4 + 2.85)} \times 1000 = 11250 \text{ €}$$

Exemplo: Implementação no Matlab

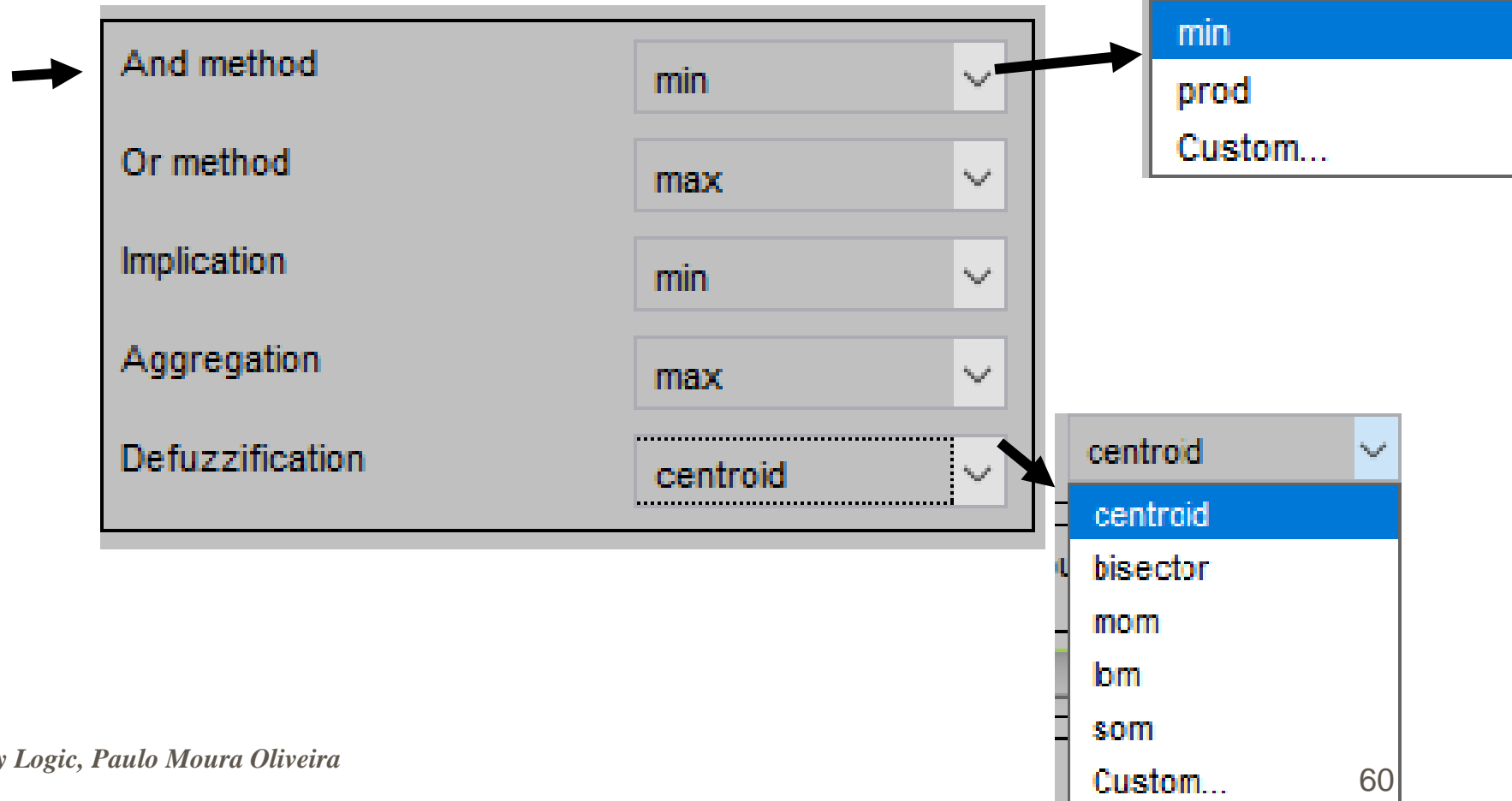
Exemplo da Gorjeta



Exemplo: Implementação no Matlab

Exemplo da Gorjeta

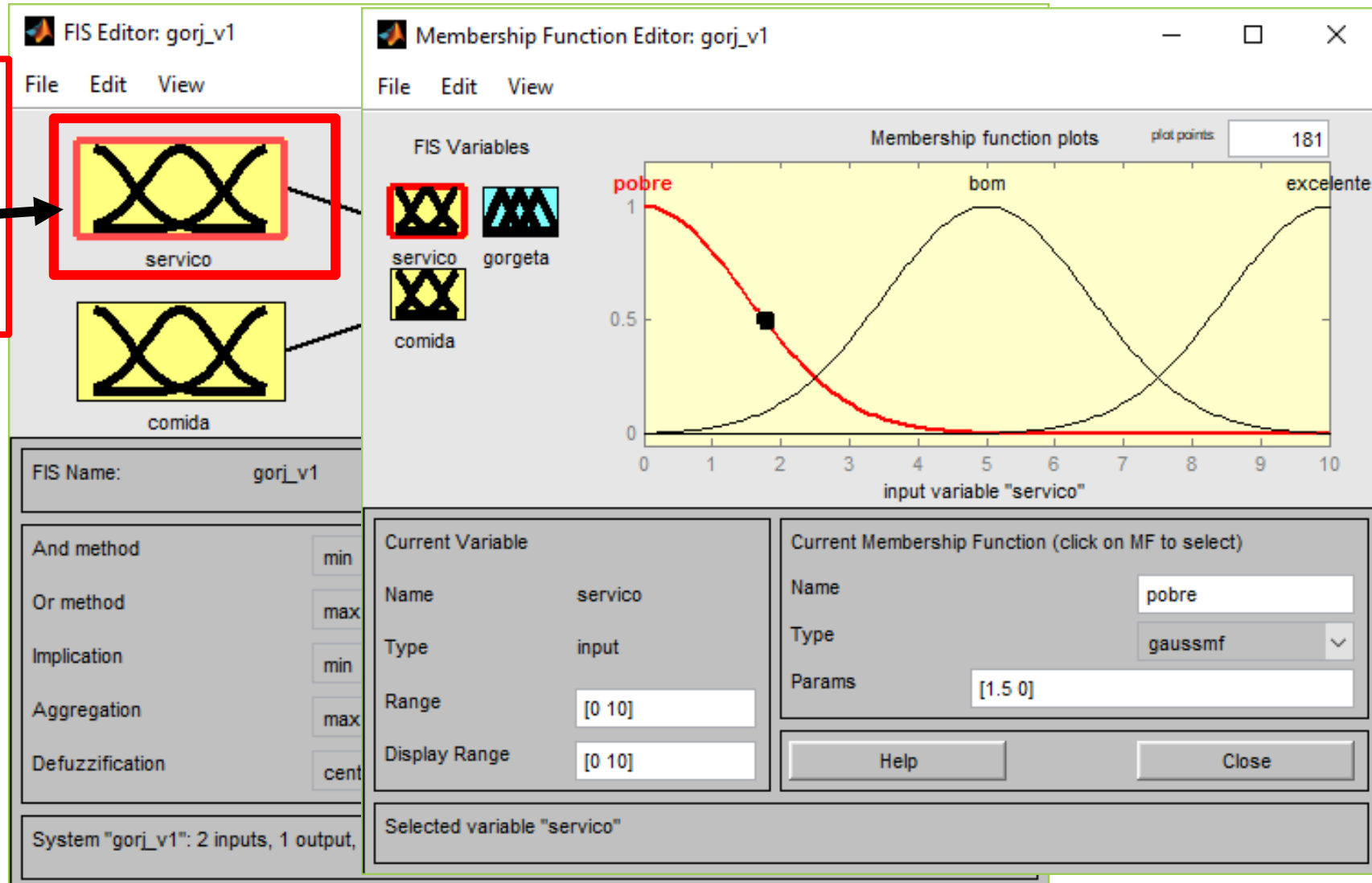
- ✓ Permite escolher o método para efetuar e E-lógico (and), Ou-Lógico (or), implicação, Agregação e Desfuzzificação.



Exemplo: Implementação no Matlab

Exemplo da Gorjeta

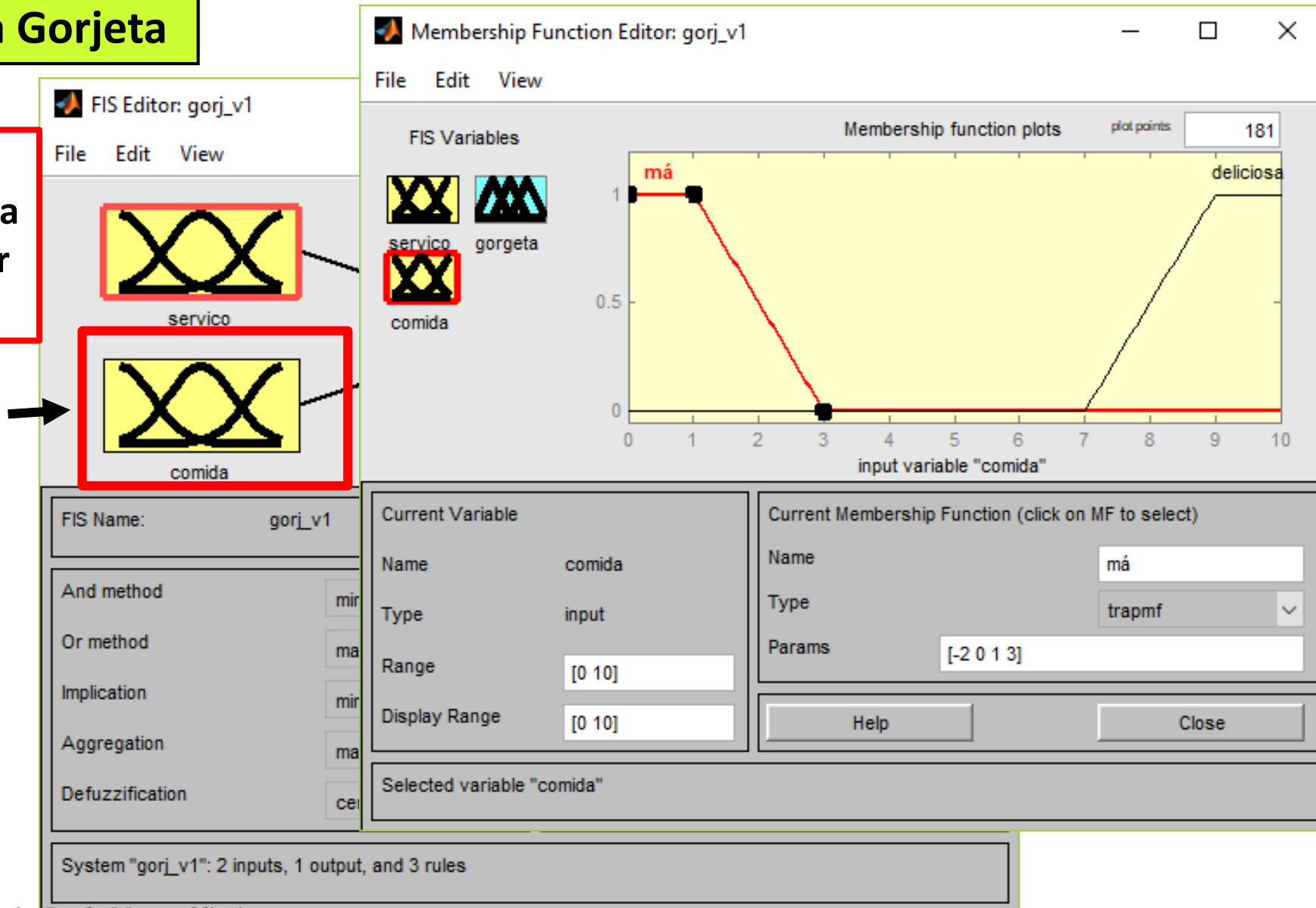
Clicando
numa entrada
abre o editor
da função
respetiva



Exemplo: Implementação no Matlab

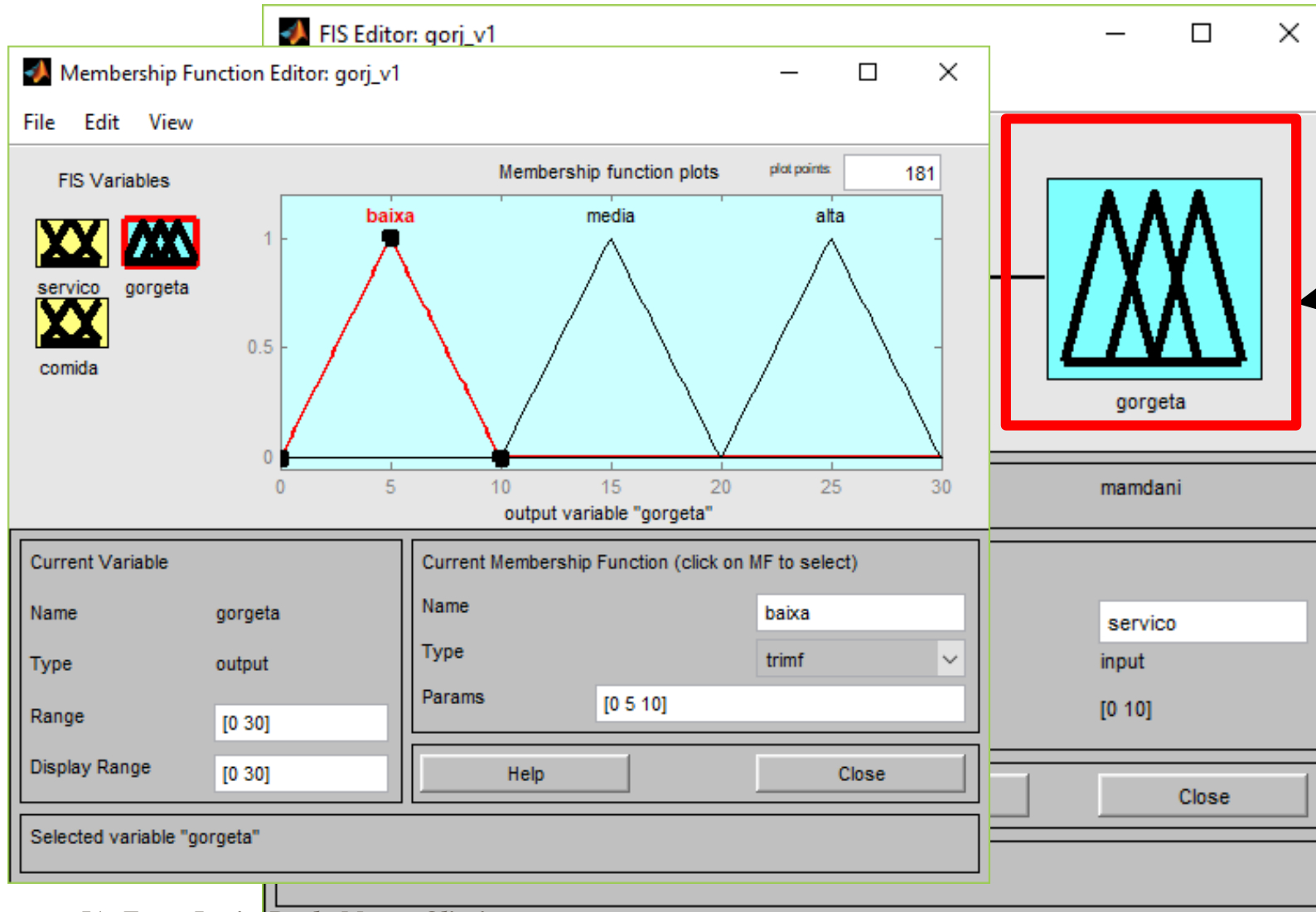
Exemplo da Gorjeta

Clicando
numa entrada
abre o editor
das funções



Exemplo: Implementação no Matlab

Exemplo da Gorjeta

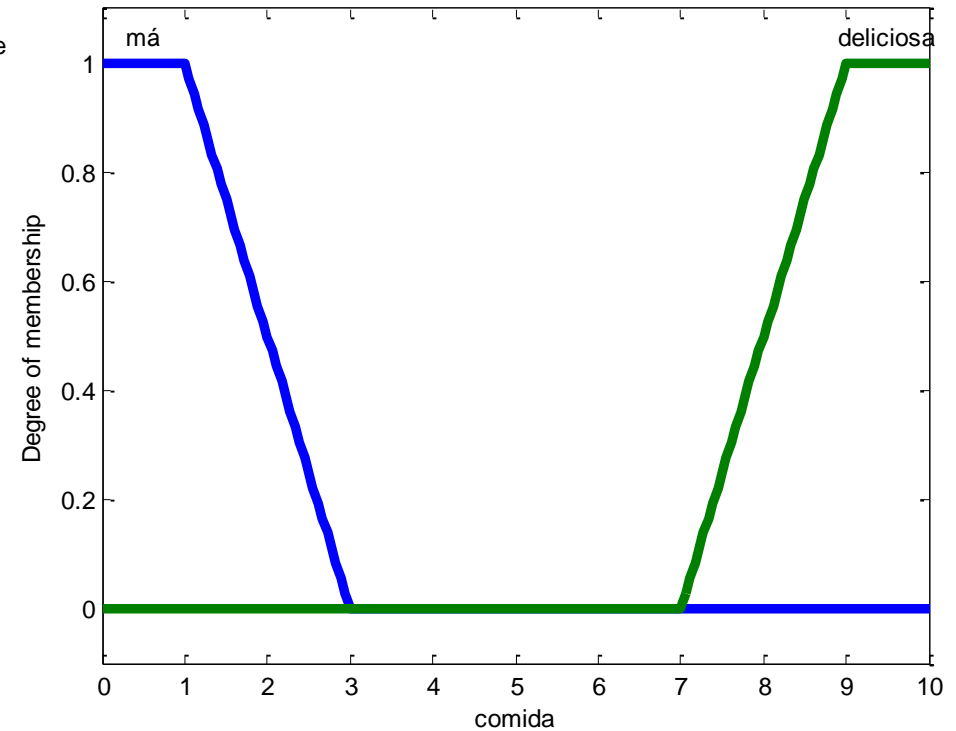
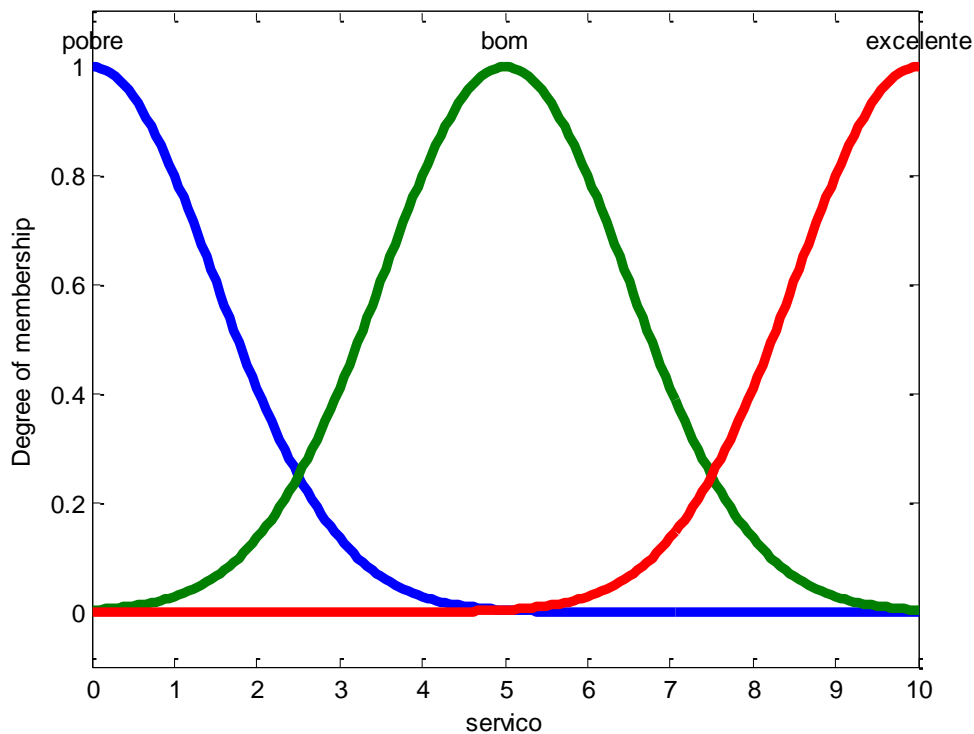


Clicando
numa saída
abre o editor
das funções

Exemplo: Implementação no Matlab

Exemplo da Gorjeta

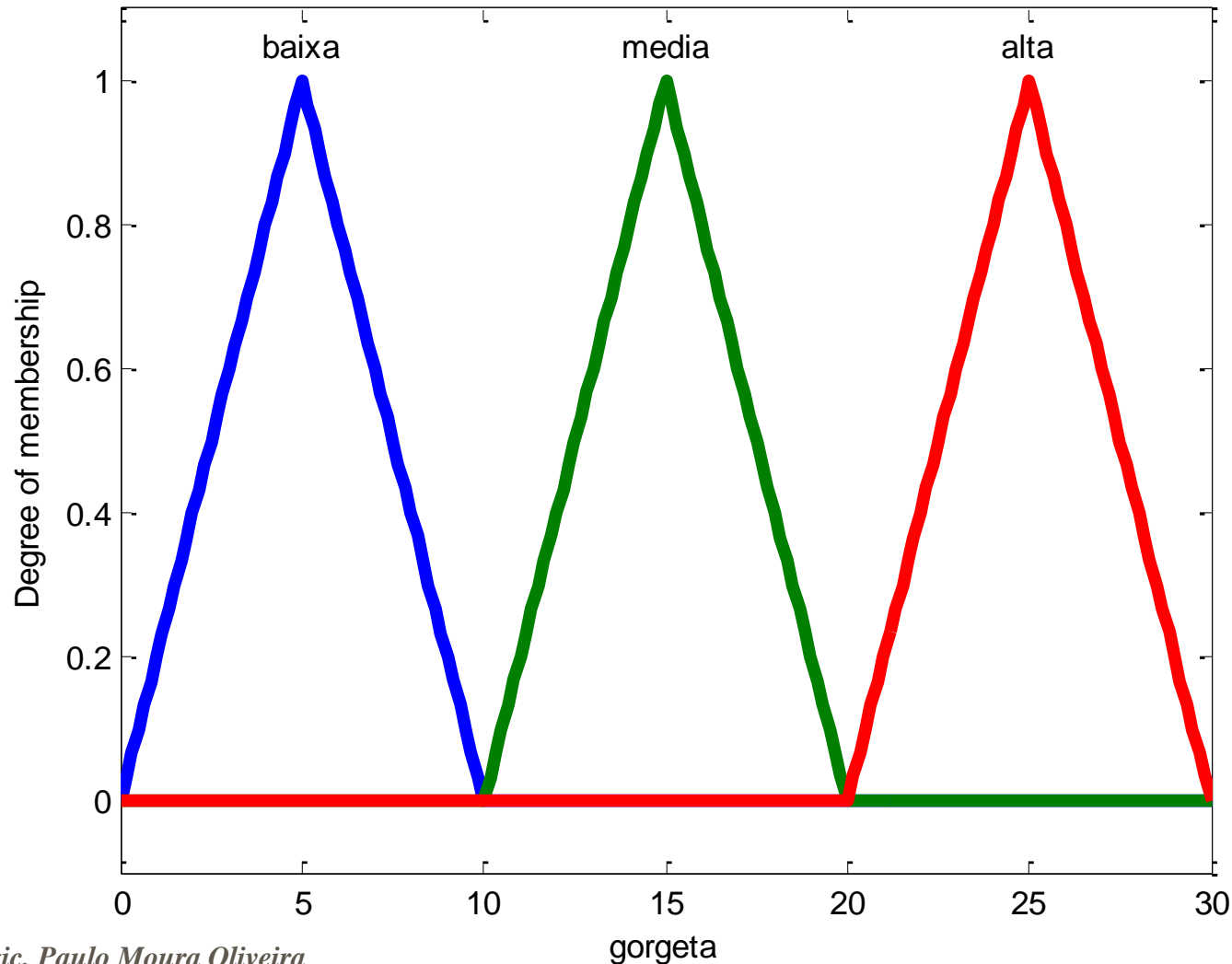
Entradas:



Exemplo: Implementação no Matlab

Exemplo da Gorjeta

Saída:



Exemplo: Implementação no Matlab

Exemplo da Gorjeta

Clicando no sistema permite abrir o editor de regras.

The screenshot displays the MATLAB FIS Editor interface for a system named 'gorj_v1'. The main window is titled 'Rule Editor: gorj_v1' and contains a list of three fuzzy rules. Rule 3 is selected and highlighted in blue. Below the rule list, the fuzzy inference process is visualized with three dropdown menus for 'servico is', 'comida is', and 'gorjeta is'. The selected values are 'excelente', 'deliciosa', and 'alta' respectively. The connection type is set to 'or' and the weight is 1. The FIS Type is 'mamdani'. The current variable 'servico' is set to 'input' with a range of [0 10].

Rule Editor: gorj_v1

File Edit View Options

1. If (servico is pobre) or (comida is má) then (gorjeta is baixa) (1)
2. If (servico is bom) then (gorjeta is media) (1)
3. If (servico is excelente) or (comida is deliciosa) then (gorjeta is alta) (1)

1. If (servico is pobre) or (comida is má) then (gorjeta is baixa) (1)
2. If (servico is bom) then (gorjeta is media) (1)
3. If (servico is excelente) or (comida is deliciosa) then (gorjeta is alta) (1)

If service is or comida is then gorjeta is

pobre bom excelente none
má deliciosa none
baixa media alta none

☐ not ☐ not ☐ not

Connection: ☒ or ☐ and

Weight: 1

Delete rule Add rule Change rule << >>

FIS Name: gorj_v1 Help Close

FIS Type: mamdani

Current Variable

Name: servico
Type: input
Range: [0 10]

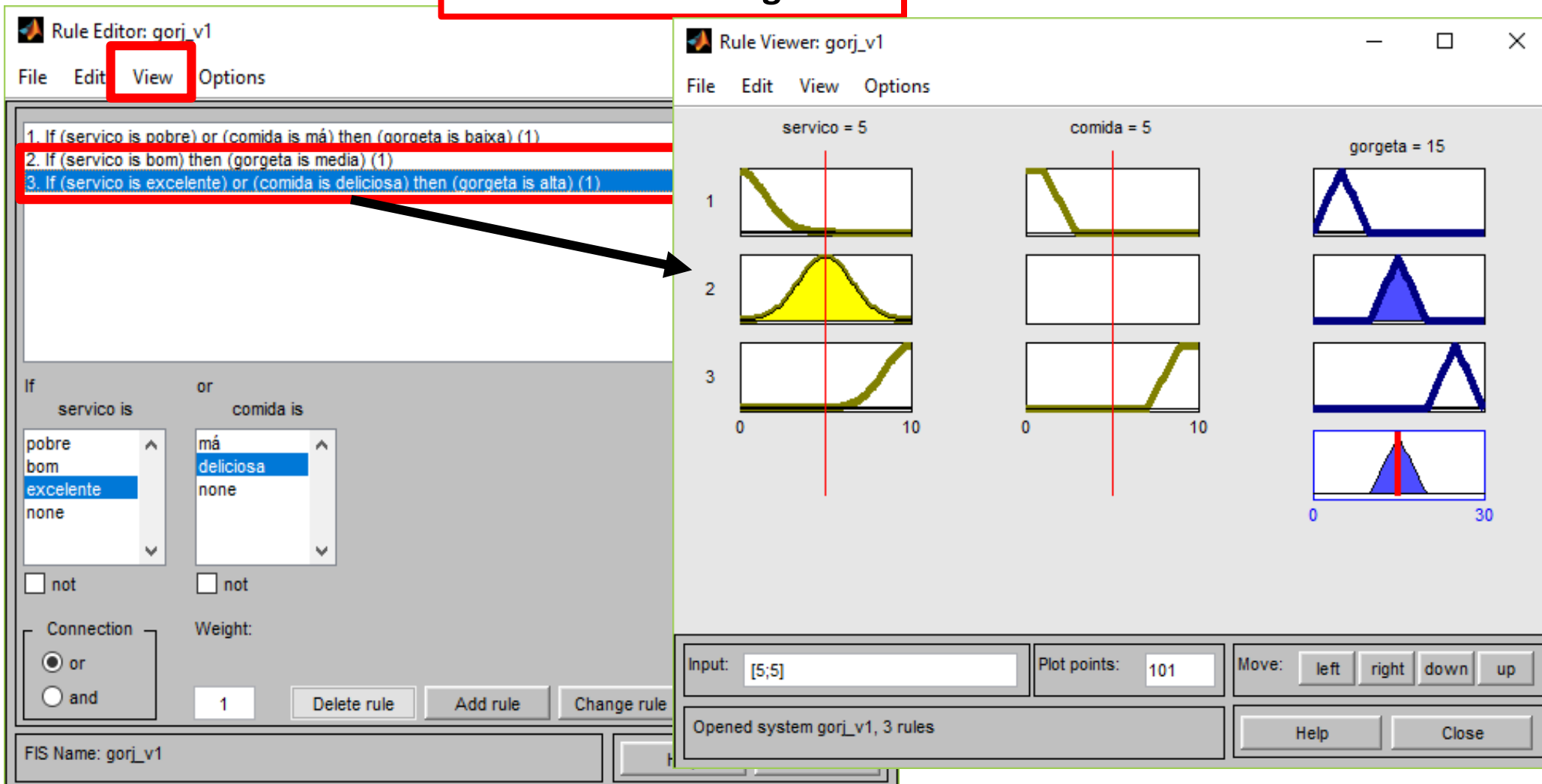
Help Close

id 3 rules

Exemplo: Implementação no Matlab

Exemplo da Gorjeta

Podemos abrir o visualizador das regras



Exemplo: Implementação

- ✓ Permite visualizar a superfície de mapeamento entre as entradas e saída.

