

# MODELOS DE LÓGICA DIFUSA PARA DESCRIVER O EFEITO DE FÁRMACOS

CATARINA S NUNES

PROFESSORA AUXILIAR  
SECÇÃO DE MATEMÁTICA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE ABERTA

# LÓGICA DIFUSA

Embora os fenómenos caracterizados pela teoria de lógica difusa possam ser difusos:

**A teoria em si é PRECISA!**

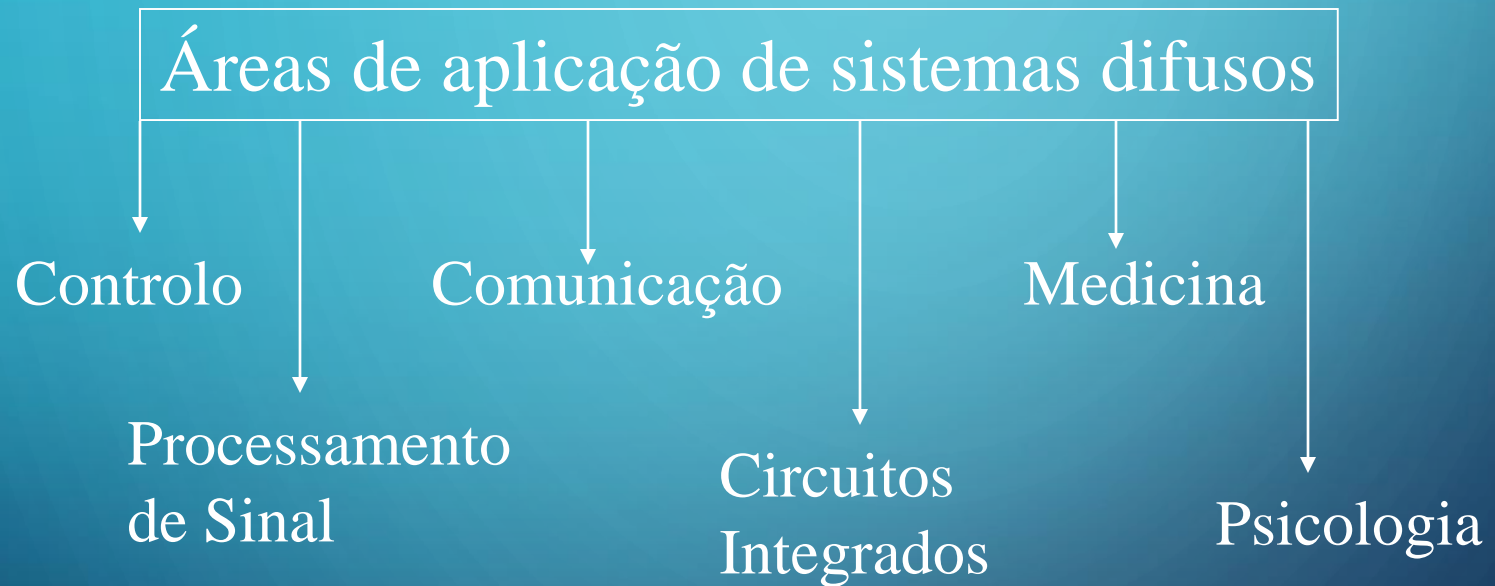
# Sistemas Reais

Especialistas  
(linguagem natural)

Medidas sensoriais  
+  
Modelos matemáticos

Sistemas Difusos podem combinar ambos

- 1965, Lofti Zadeh, “Fuzzy Sets”, Information and Control, 8, pp. 338-353



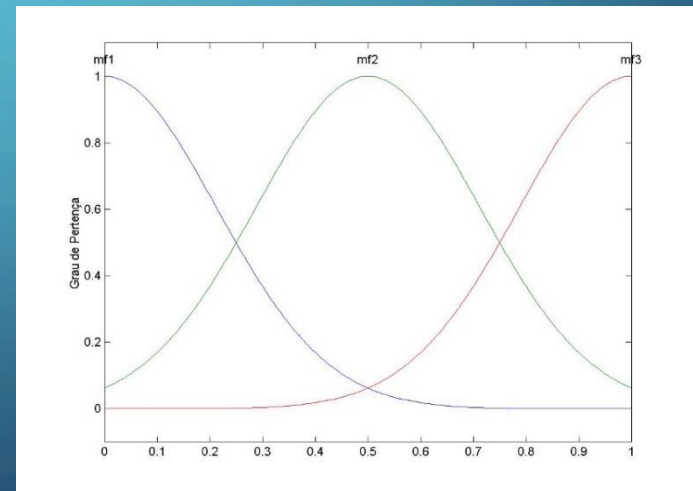
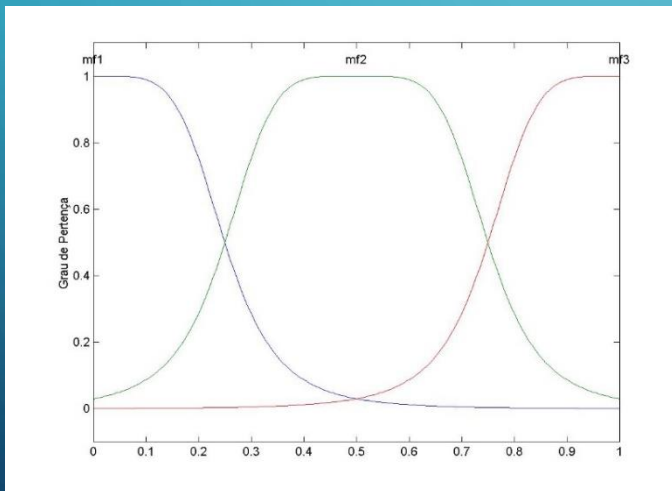
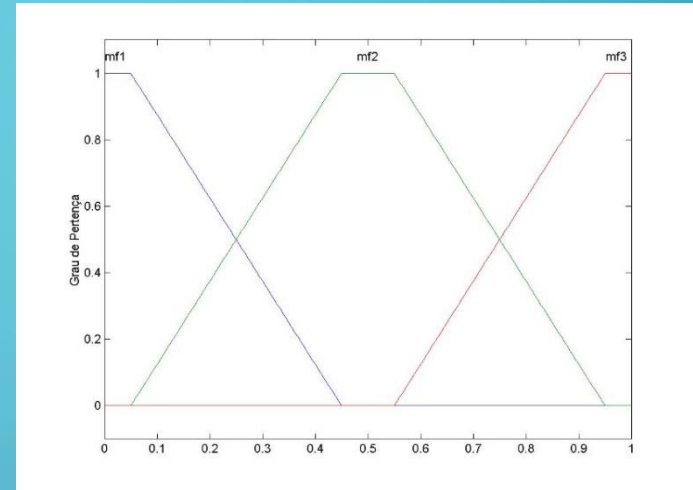
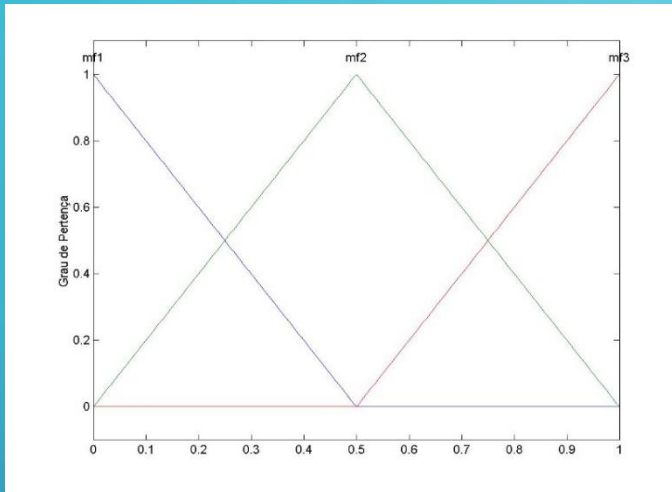
# CONJUNTOS DIFUSOS

$\mu_A : U \rightarrow [0, 1]$  : um elemento do conjunto universal  $U$ , pertence ao conjunto  $A$  com um determinado grau de pertença que corresponde a um número entre 0 e 1 (inclusive)

- Um conjunto difuso,  $A \subset U$ , é um conjunto de pares de elementos ( $u$ ) e do seu grau de pertença ( $\mu_A(u)$ ):

$$A = \{(u, \mu_A(u)) / u \in U\}$$

# FUNÇÕES DE PERTENÇA



# RELAÇÕES DIFUSAS

- Como representar frases linguísticas matematicamente?

*Se a velocidade é pouca então a pressão deve ser alta*

*Se A então B      ou       $A \rightarrow B$*

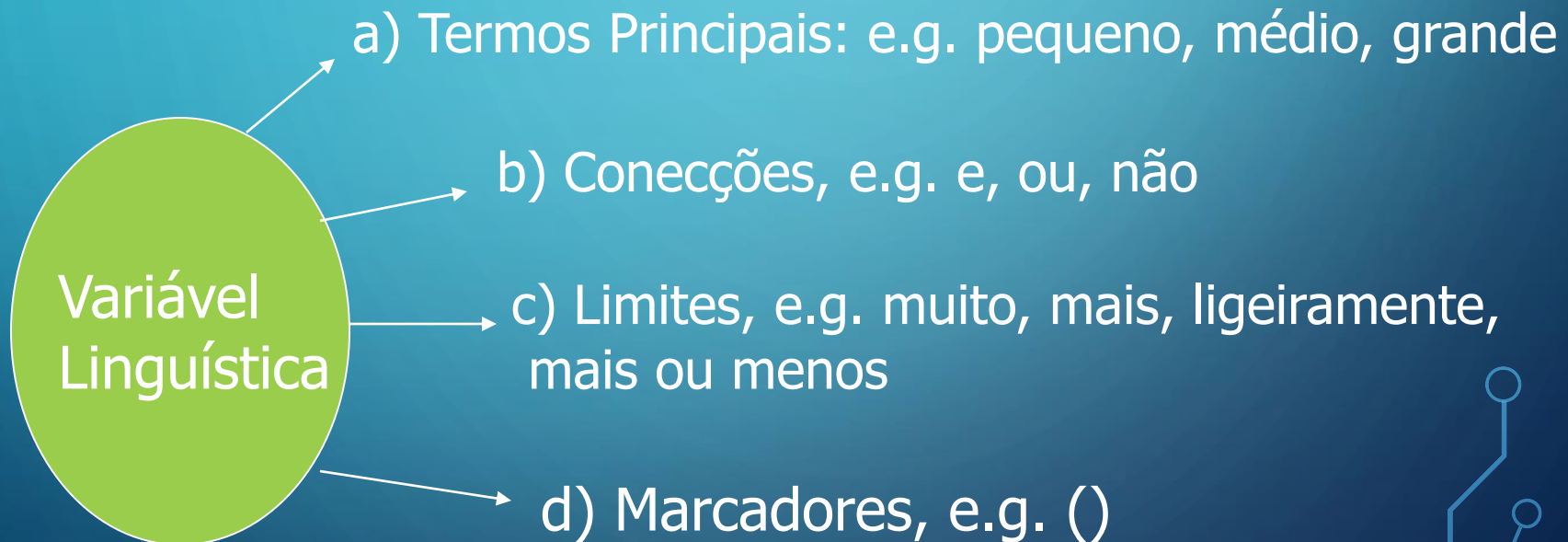
**R** : relação difusa da forma  $A \rightarrow B$ , caracterizada por

$$\mu_R(u, v), u \in U, v \in V$$

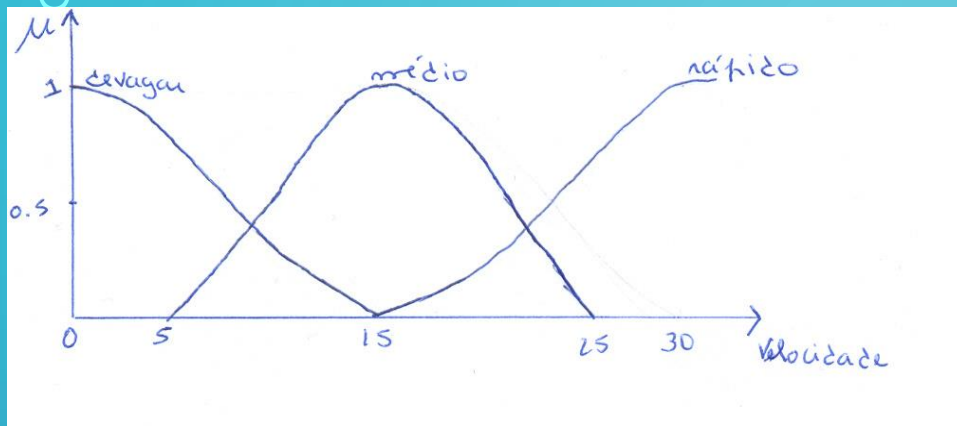
$$R = A * B = \Sigma \mu_R(u, v) / (u, v) = \begin{cases} \Sigma \min(\mu_A(u), \mu_B(v)) \\ \Sigma \mu_A(u) \cdot \mu_B(v) \end{cases}$$

# VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS

- A teoria difusa permite a modelação de termos de linguagem natural com a ajuda de variáveis linguísticas

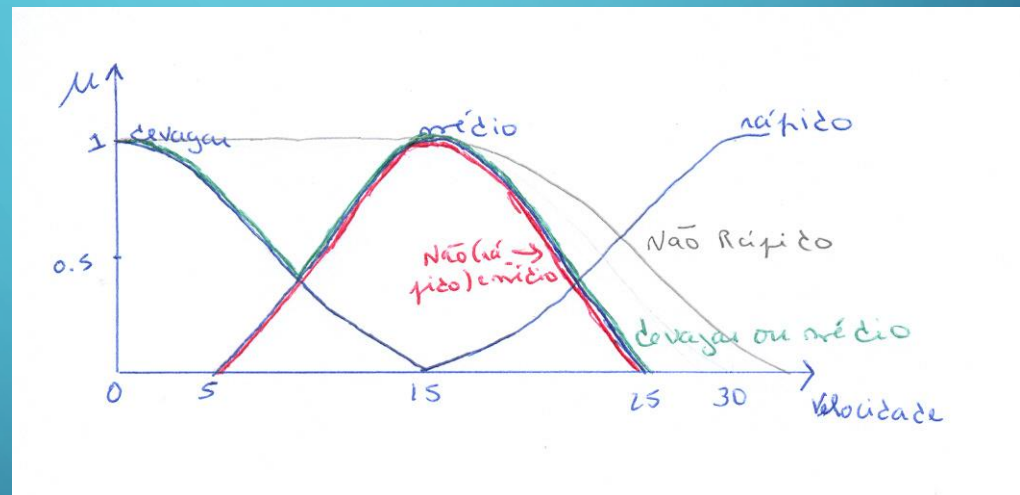






- Devagar ou médio
- Médio e não(rápido)

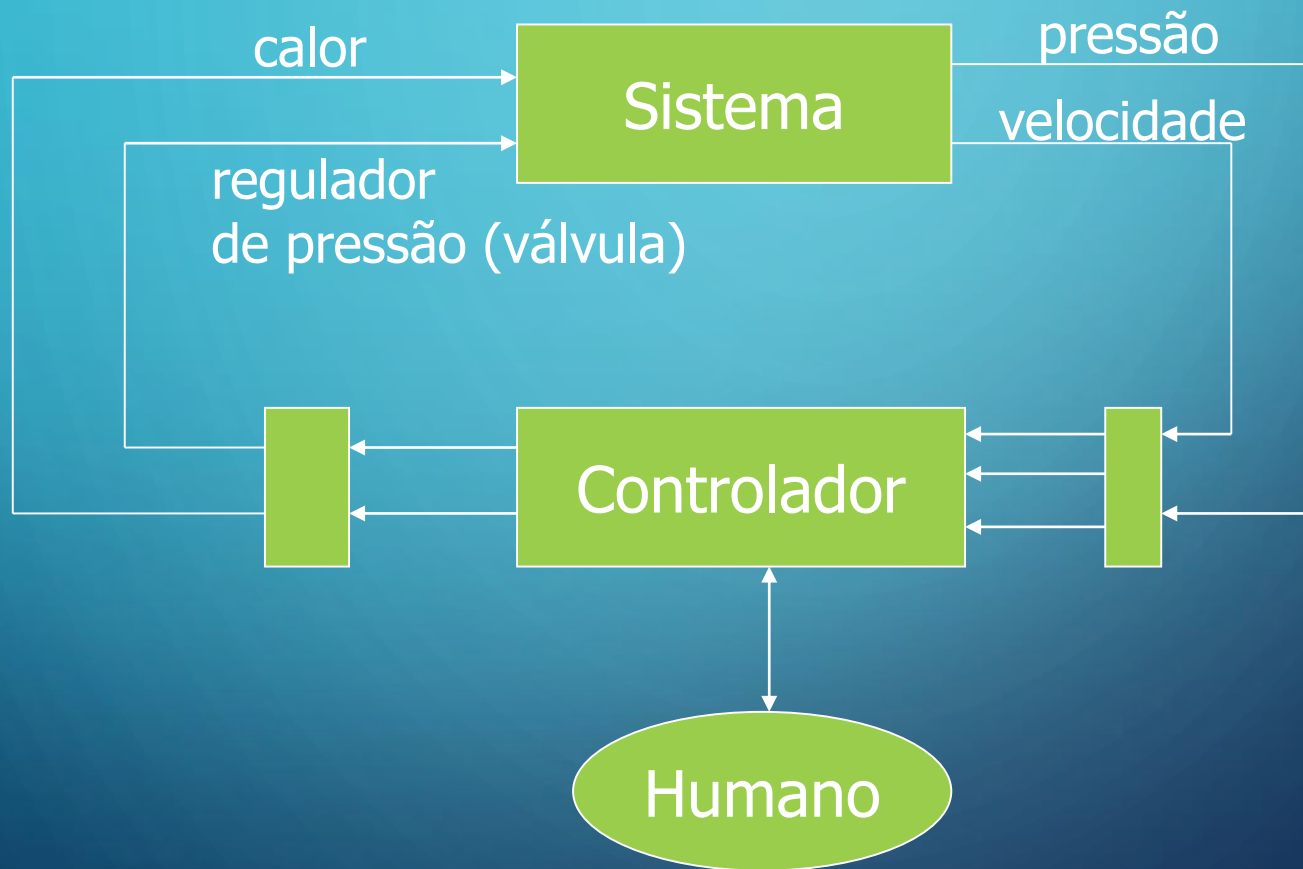
Ou=reunião  
 E=intersecção  
 Não=complemento



$$\text{Muito}(u) = u^2$$

$$\text{Muito}(\text{muito}(u)) = u^4$$

# Motor a vapor e uma caldeira (Mamdani, 1974)



# REGRAS DIFUSAS DO TIPO MAMDANI

- **Se** o erro de pressão é negativo grande (NB) **então** a mudança de calor é positiva grande (PB)
- **Se** o erro de pressão é (NB) e a diferença do erro de pressão é NB **então** mudança de calor é PB

$R_i$ : Se  $A_{i1}(x_1), A_{i2}(x_2), \dots, A_{im}(x_m)$  então  $y$  é  $B_i$

Erro de pressão =  $X_1$

Diferença do erro de pressão =  $X_2$

$A_{i1}(x_1) = \text{NB}$

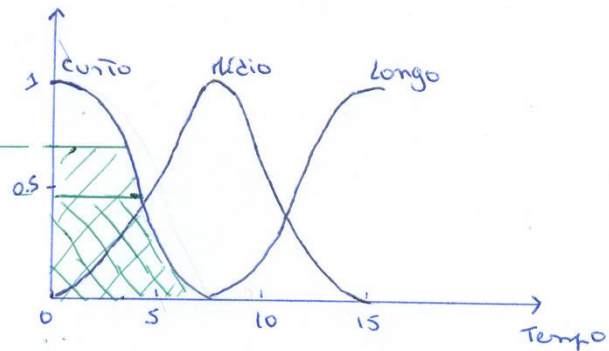
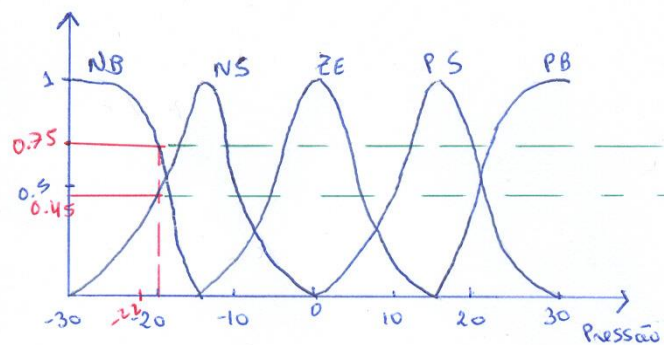
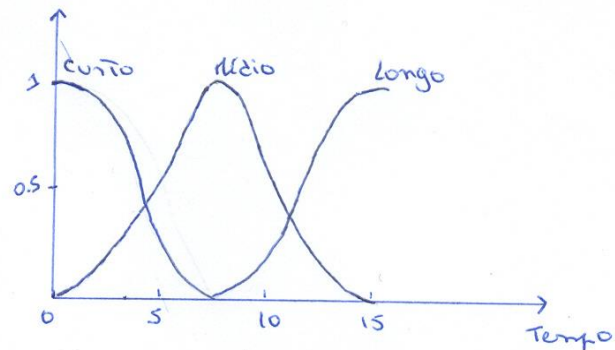
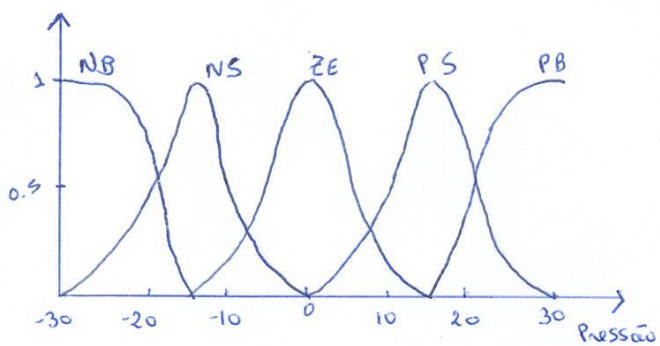
$A_{i2}(x_2) = \text{NB}$  (se  $x_2$  é  $A_{i2}$ )

$B_i = \text{PB}$

# EXEMPLO 1

- Se pressão é NB então tempo é curto
- Se pressão é negativa pequena (NS) então tempo é curto
- Se pressão é zero (ZE) então tempo é médio
- Se pressão é positiva pequena (PS) então tempo é longo
- Se pressão é PB então tempo é longo

Qual é a saída do sistema (tempo) se a pressão for  $-22\text{Kpa}$ ?



# CASO EM ESTUDO

## OBJETIVO

- Modelar o efeito do estímulo cirúrgico nos parâmetros cardiovasculares do doentes
- Utilizando as concentrações do fármaco remifentanil (analgésico)
- A ação do remifentanil pode ser vista como uma redução na perceção que o doente tem do estímulo cirúrgico (i.e. dor/nocicepção)

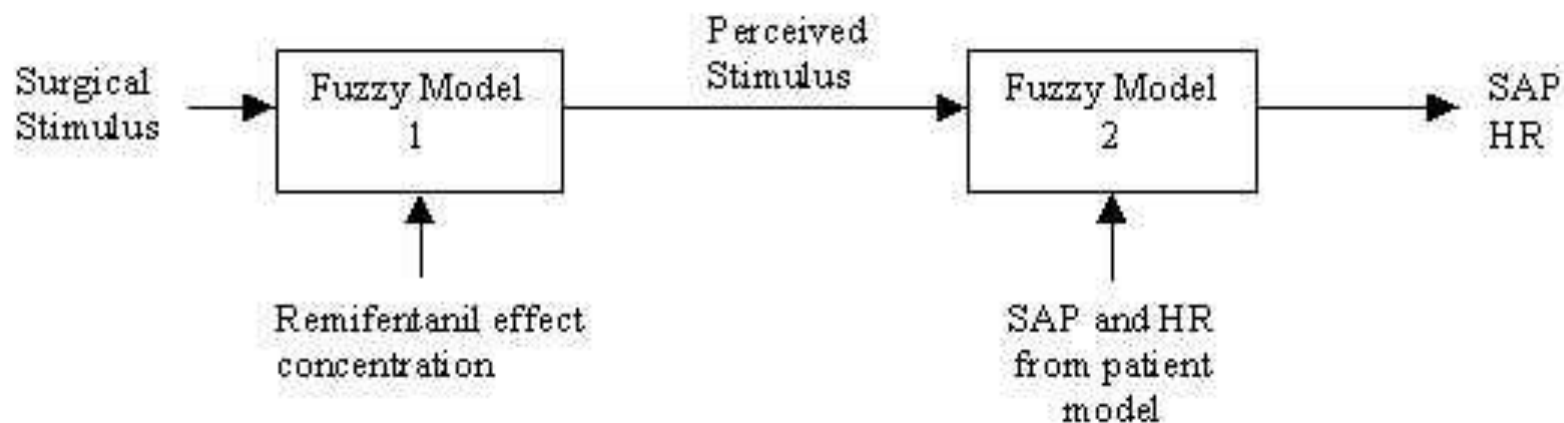
# MODELO DE LÓGICA DIFUSA

O efeito do estímulo cirúrgico nos parâmetros cardiovasculares depende de:

- nível de analgesia;
- nível de depressão dos parâmetros;
- intensidade do estímulo cirúrgico.

O clínico tem um papel importante, transmitindo as suposições e aproximações que são clinicamente realistas

# ESTRUTURA DO MODELO



SAP - pressão arterial sistólica  
HR - frequência cardíaca



# PERCEÇÃO DO ESTÍMULO

Base de regras difusas.

Estímulo cirúrgico  $\in [0,1]$ , concentração de remifentanil  $e \in [0,10 \text{ ng/ml}]$  e o estímulo percebido  $\in [0,1]$ .

| <b>Surgical Stimulus</b> | <b>Remifentanil effect concentration (ng/ml)</b> |                |                |                |                  |
|--------------------------|--|----------------|----------------|----------------|------------------|
|                          | <i>Zero</i>                                      | <i>Low</i>     | <i>Medium</i>  | <i>High</i>    | <i>Very High</i> |
| <i>Zero</i>              | <i>Zero</i>                                      | <i>Zero</i>    | <i>Zero</i>    | <i>Zero</i>    | <i>Zero</i>      |
| <i>Low</i>               | <i>Low</i>                                       | <i>VeryLow</i> | <i>Zero</i>    | <i>Zero</i>    | <i>Zero</i>      |
| <i>Medium</i>            | <i>Medium</i>                                    | <i>Low</i>     | <i>VeryLow</i> | <i>Zero</i>    | <i>Zero</i>      |
| <i>High</i>              | <i>High</i>                                      | <i>Medium</i>  | <i>Low</i>     | <i>VeryLow</i> | <i>Zero</i>      |

# PRESSÃO ARTERIAL SISTÓLICA (SAP)

| Perceived Stimulus | Previous value of SAP |          |          |
|--------------------|-----------------------|----------|----------|
|                    | Low                   | Medium   | High     |
| Zero               | Low                   | Medium   | High     |
| Low                | Low                   | Medium   | High     |
| Medium             | Medium                | High     | VeryHigh |
| High               | High                  | VeryHigh | VeryHigh |

## Situação A: SAP basal >130 mmHg

- *Low*: SAP < 70% da basal;
- *Medium*: SAP entre 70-80% da basal;
- *High*: SAP > 80% da basal.

## Situação B: SAP basal entre 120-130 mmHg

- *Low*: SAP < 75% da basal;

- *Medium*: SAP between 75-85% da basal;
- *High*: SAP > 85% da basal.

## Situação C: SAP basal <120 mmHg

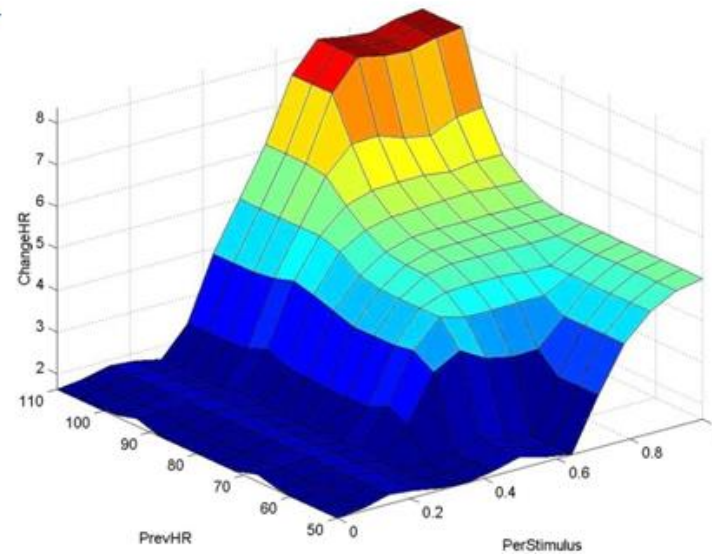
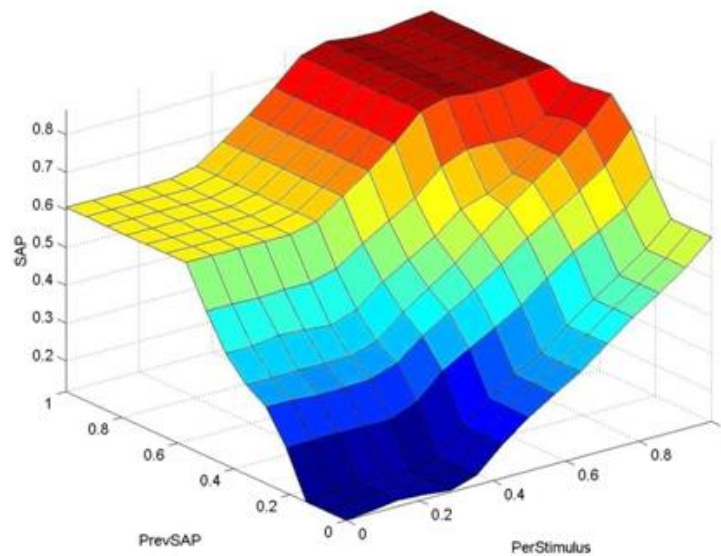
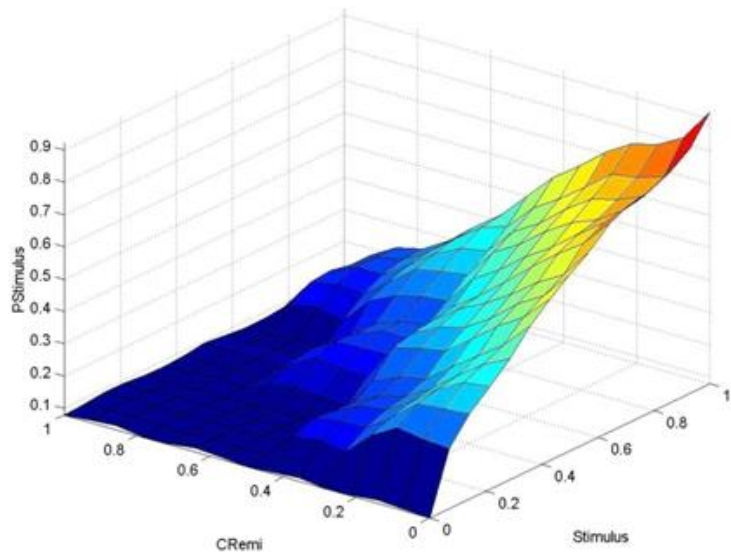
- *Low*: SAP < 90 mmHg;
- *Medium*: SAP between 90-120 mmHg;
- *High*: SAP > 120 mmHg.

# FREQUÊNCIA CARDÍACA (HR)

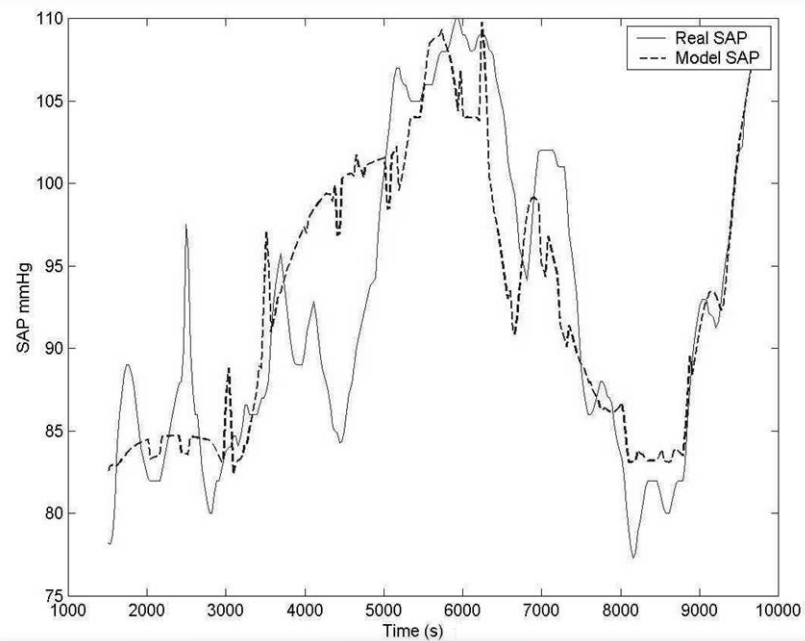
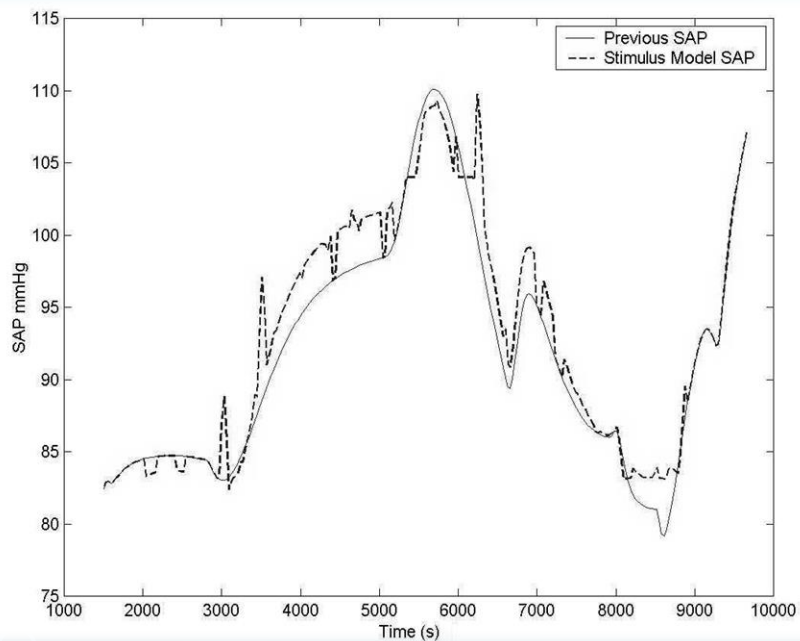
Base de regras para a mudança na HR depois do estímulo.

| Perceived Stimulus | Previous value of HR |        |        |
|--------------------|----------------------|--------|--------|
|                    | Low                  | Medium | High   |
| Zero               | Zero                 | Zero   | Zero   |
| Low                | Zero                 | Zero   | Little |
| Medium             | Zero                 | Little | Large  |
| High               | Little               | Little | Large  |

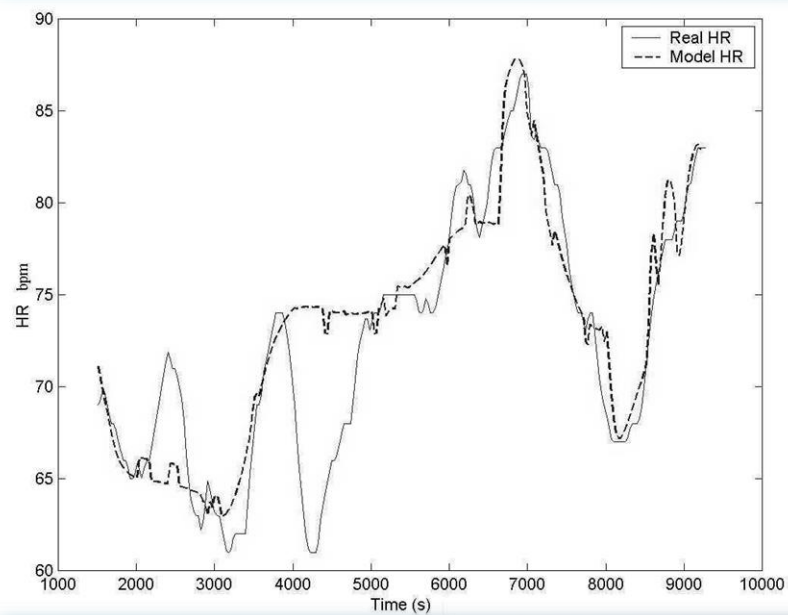
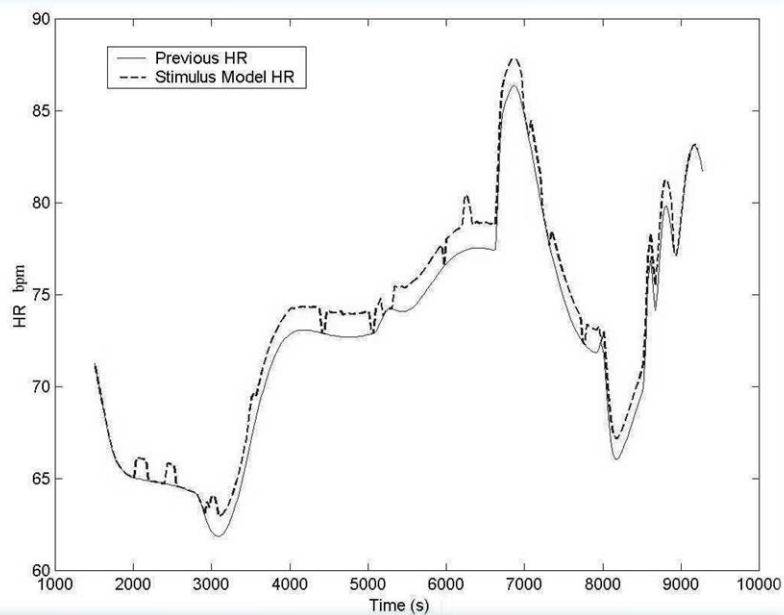
- *Low*:  $HR < 70\%$  da basal;
- *Medium*: HR entre 70-90% da basal;
- *High*:  $HR > 90\%$  da basal.



# RESULTADOS - SAP



# RESULTADOS - HR



# CONCLUSÃO

- O modelo difuso consegue captar as mudanças devido ao efeito do estímulo cirúrgico;
- As superfícies de saída refletem o efeito do remifentanil na percepção do paciente (do estímulo/dor);
- A lógica difusa reflete a percepção do clínico no que diz respeito à resposta do doente.