

## CONTROLE UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

### Tarefa 1

Considere um processo que segue a função de transferência apresentada a seguir:

$$G(s) = \frac{1,2e^{-s}}{10s + 1}$$

Desenvolva um controlador fuzzy-PI, para responder a uma perturbação degrau no sinal de entrada (SP), e avalie o desempenho do controlador.

### SOLUÇÃO : Variáveis Fuzzy

ENTRADAS: erro (e) e variação do erro (de).

SAÍDA: variação da saída do controlador (du).

Para cada variável serão escolhidas as funções de pertinência:

**Erro (e) → negativo e positivo**

**universo de discurso: [-1 1]**

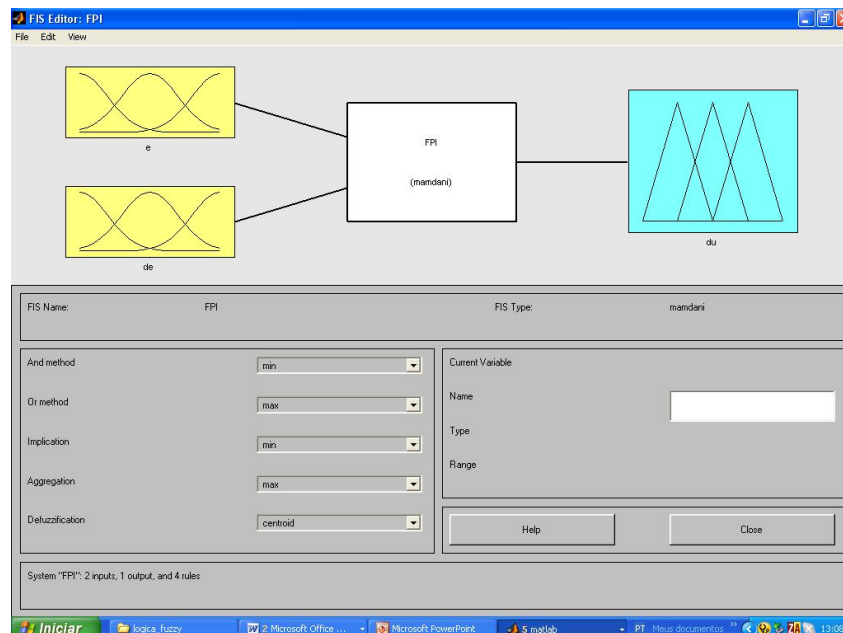
**Variação do Erro (de) → negativo e positivo**

**universo de discurso: [-1 1]**

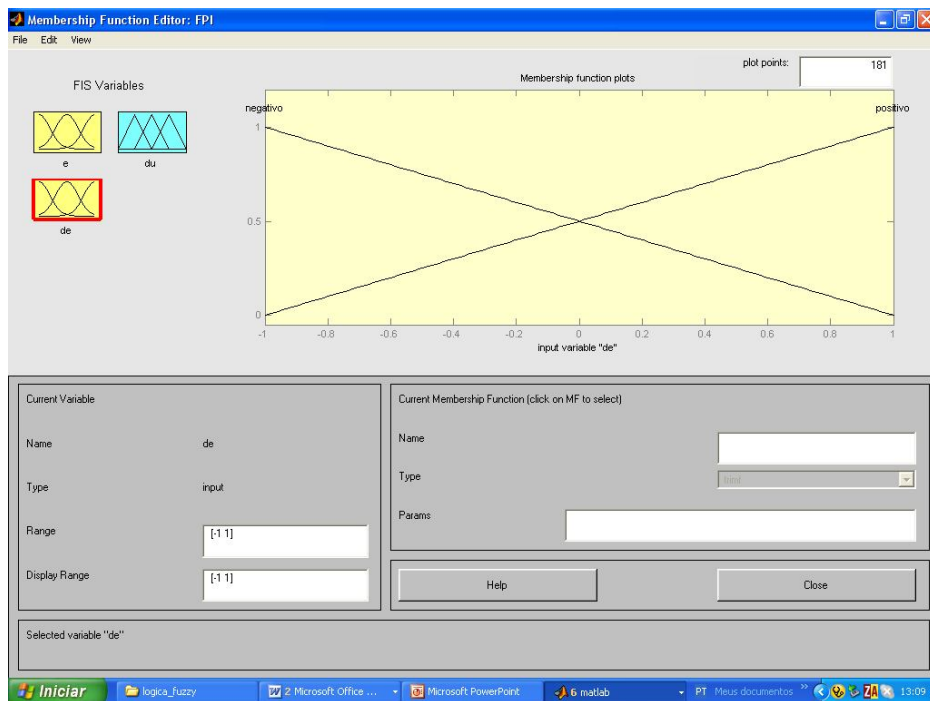
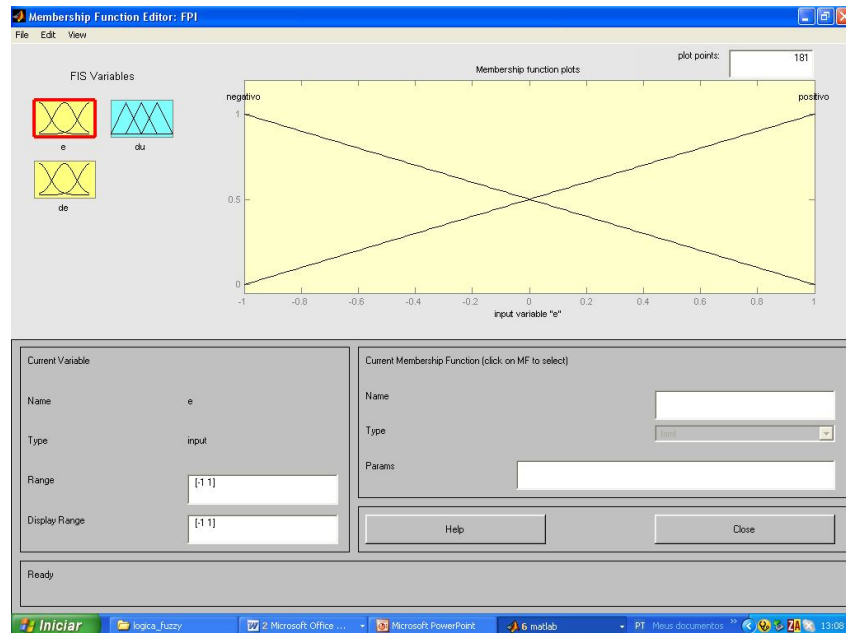
**Variação da saída (du) → pequeno, nenhum e grande**

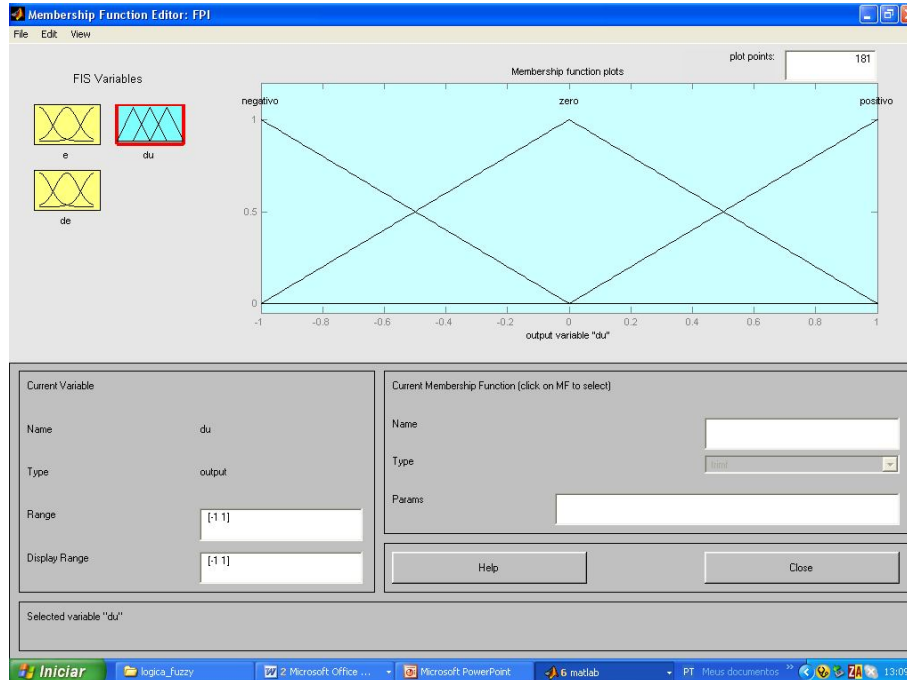
**Universo de discurso: [-1 1]**

Utilizando o toolbox fuzzy no MatLab:



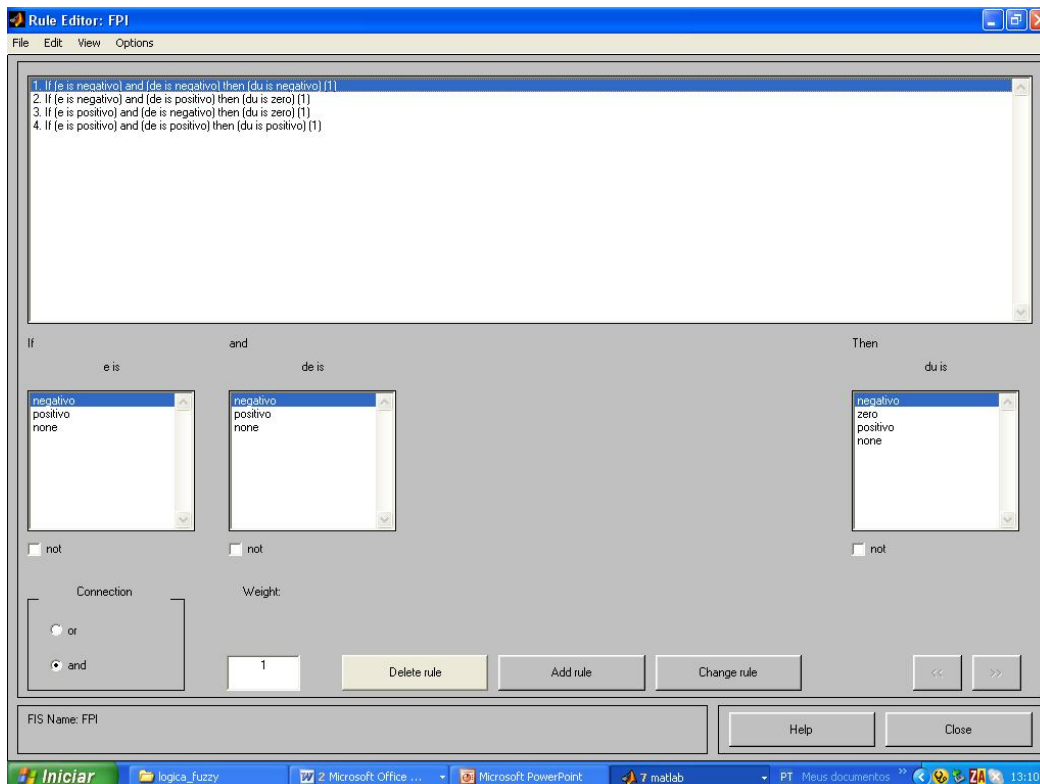
As funções de pertinência serão definidas como mostradas a seguir:





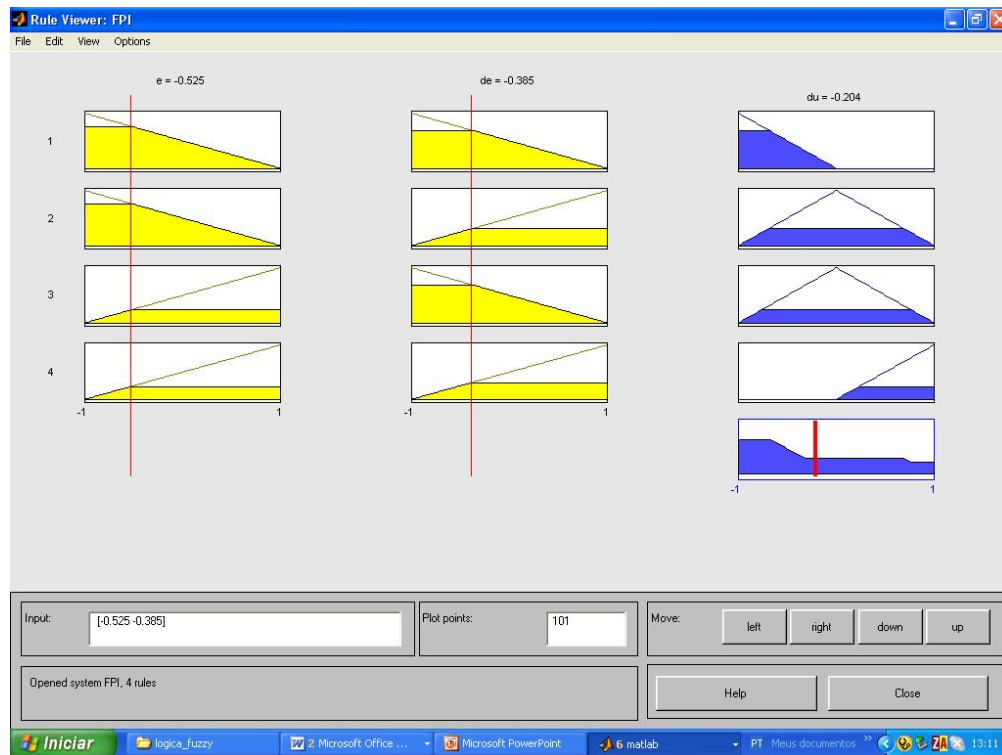
A construção da base de regras é uma tarefa de difícil execução, pois depende grandemente do conhecimento especialista.

Aqui, uma simples base de regra é definida, como mostrado abaixo:

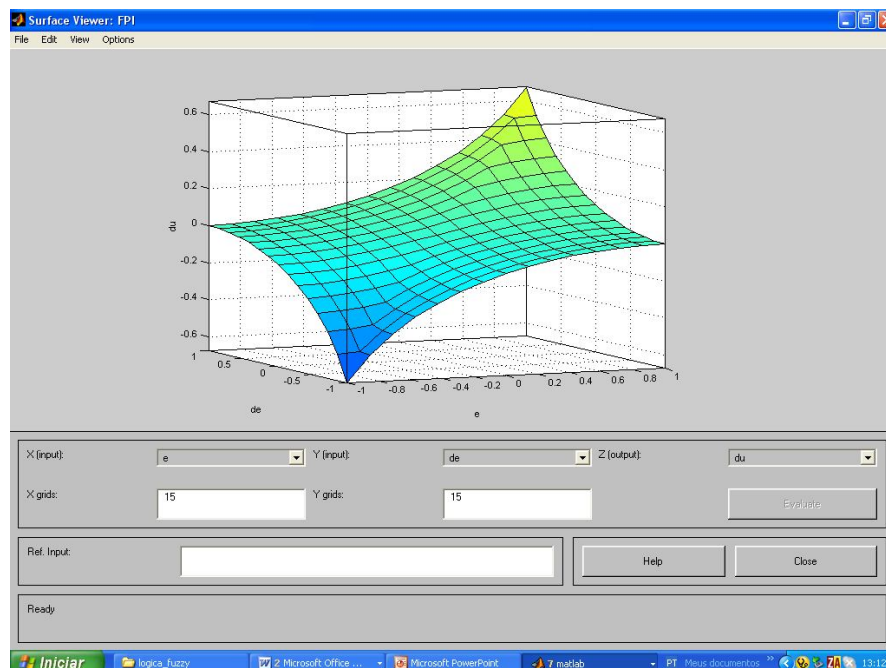


Utilize o visualizador das regras para testar diferentes entradas.

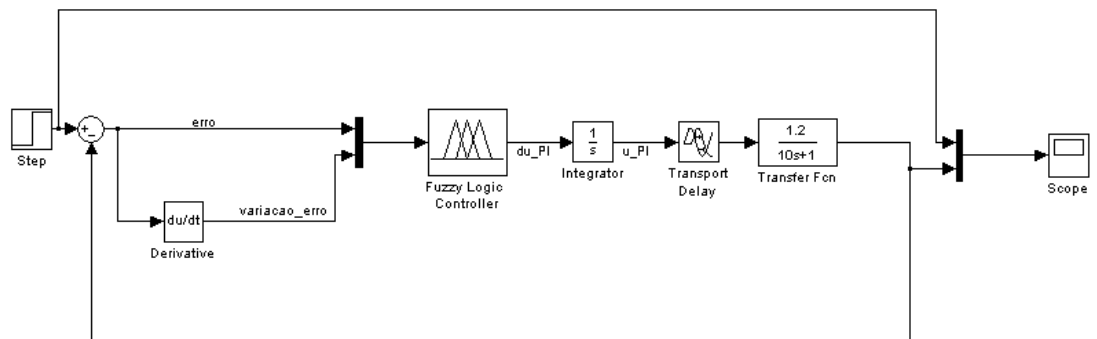
Com a aplicação do método de defuzzificação do centro de gravidade um valor crisp é obtido e apresentado, como pode ser observado a seguir:



O mapeamento geral de entradas e saídas do projeto fuzzy criado pode ser observado na superfície:



Para verificar o funcionamento do sistema proposto, deve-se criar, no Simulink, o modelo a seguir:



Ajuste um tempo de simulação total de 100 s. Observe o comportamento do controlador no gráfico gerado, propondo soluções para melhorar seu desempenho.

**Tarefa 2**

Desenvolva, para o mesmo sistema anterior, um controlador fuzzy-PID simplificado.

**SOLUÇÃO : Variáveis fuzzy**

**Erro (e) → universo de discurso: [-1 1]**

**Varição do Erro (de) → universo de discurso: [-1 1]**

**Varição da saída (du) → universo de discurso: [-1 1]**

Para a sintonia do controlador fuzzy-PID simplificado, deve-se partir da sintonia de um controlador PID previamente sintonizado. Assim, pode-se utilizar, como sugestão, o método de Ziegler-Nichols (Ultimate Gain):

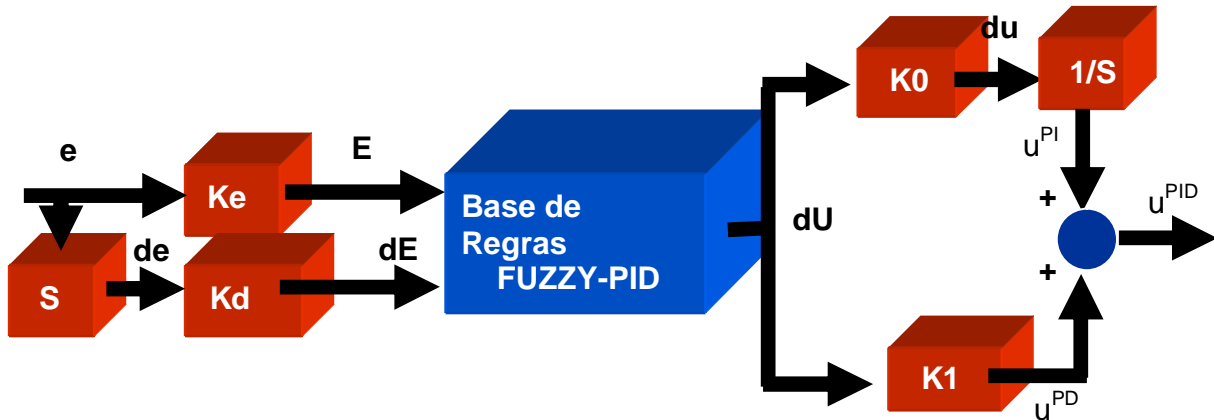
|     | $K_p$         | $K_I$             | $K_d$           |
|-----|---------------|-------------------|-----------------|
| P   | $0.5 K_{pc}$  | -                 | -               |
| PI  | $0.45 K_{pc}$ | $\frac{1,2}{T_c}$ | -               |
| PID | $0.6 K_{pc}$  | $\frac{2}{T_c}$   | $\frac{T_c}{8}$ |

As relações são válidas para a função de transferência do controlador

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{K_I}{s} + K_D s \right)$$

Uma vez sintonizado o controlador PID, pode-se obter os ganhos do controlador fuzzy, conforme apresentado no esquema abaixo ( $K_e$ ,  $K_d$ ,  $K_0$  e  $K_1$ ), segundo as equações abaixo:

- $K_e = 1$  (valor inicial)
- $K_d = \alpha K_e$
- $\alpha + \beta = T_i$        $\beta = K_1/K_0$
- $\alpha * \beta = T_i * T_d$
- $K_0 \geq K_c/T_i$

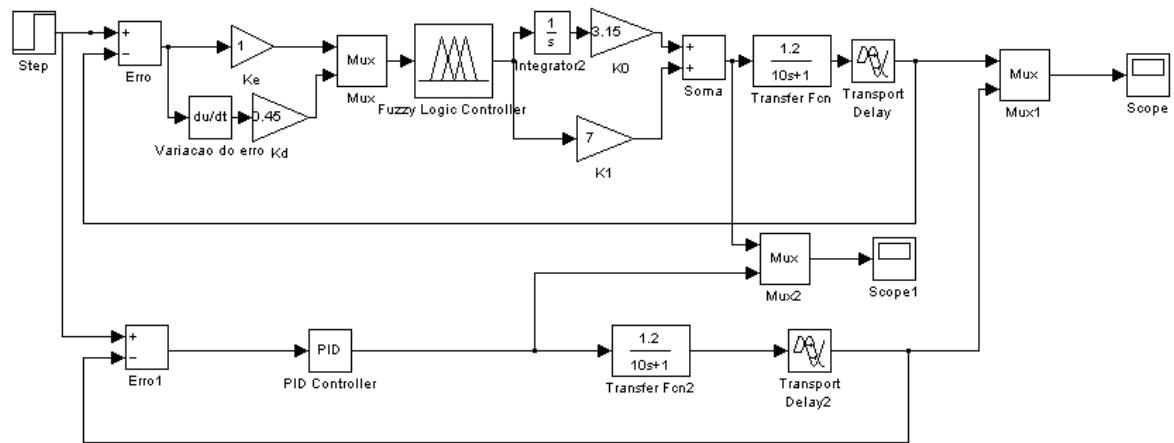


Podem ser obtidos dois valores para  $\alpha$  e  $\beta$  (resultado de uma equação do 2º grau). Assim, deve-se tomar os valores que apresentem maior valor de  $K1$ , em relação a  $K0$  (pois o termo PD deve ser maior, ou mais intenso, que o termo PI  $\rightarrow$  estabilidade e oscilações).

Base de regras para o controlador fuzzy-PID simplificado:

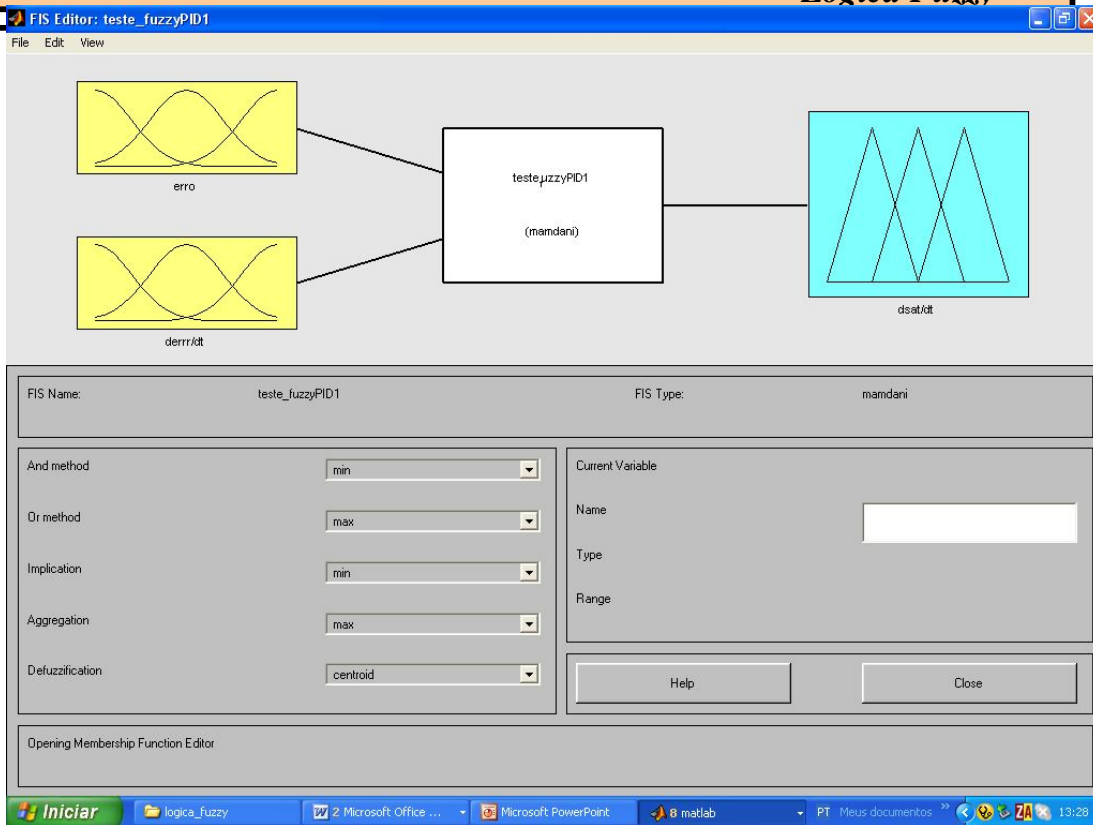
| dE/E | GN | MN | PN | ZR | PP | MP | GP |
|------|----|----|----|----|----|----|----|
| GP   | ZR | PP | MP | GP | GP | GP | GP |
| MP   | PN | ZR | PP | MP | GP | GP | GP |
| PP   | MN | PN | ZR | PP | MP | GP | GP |
| ZR   | GN | MN | PN | ZR | PP | MP | GP |
| PN   | GN | GN | MN | PN | ZR | PP | MP |
| MN   | GN | GN | GN | MN | PN | ZR | PP |
| GN   | GN | GN | GN | GN | MN | PN | ZR |

Para a simulação do problema proposto, parte-se do seguinte modelo construído no Simulink:

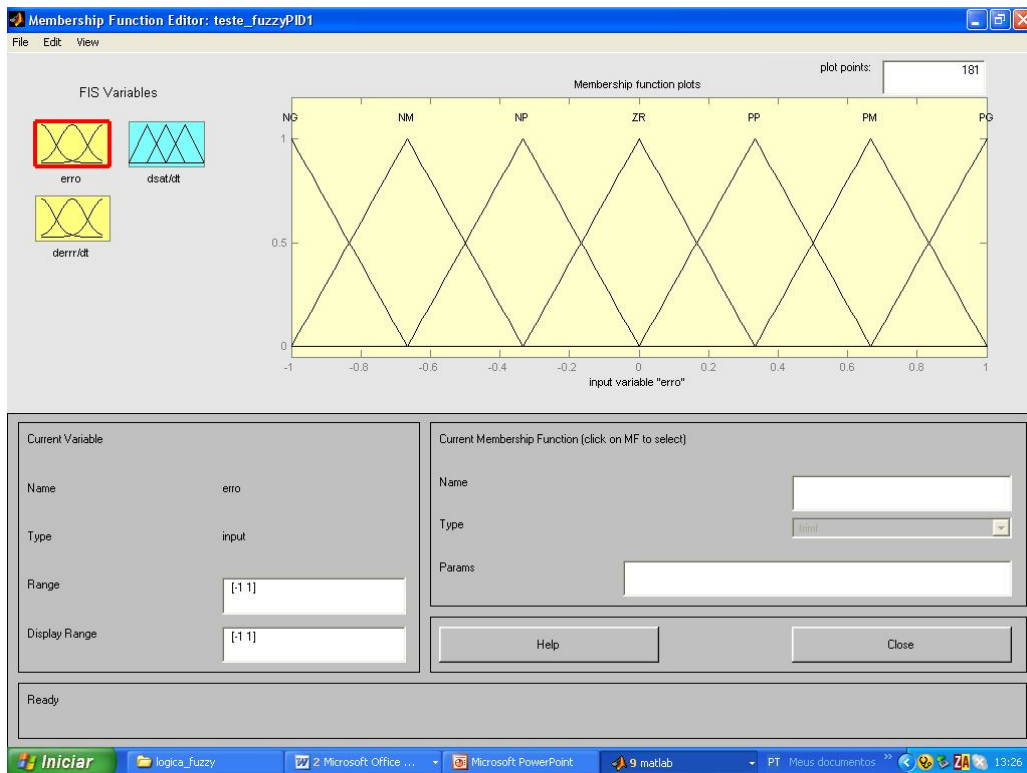


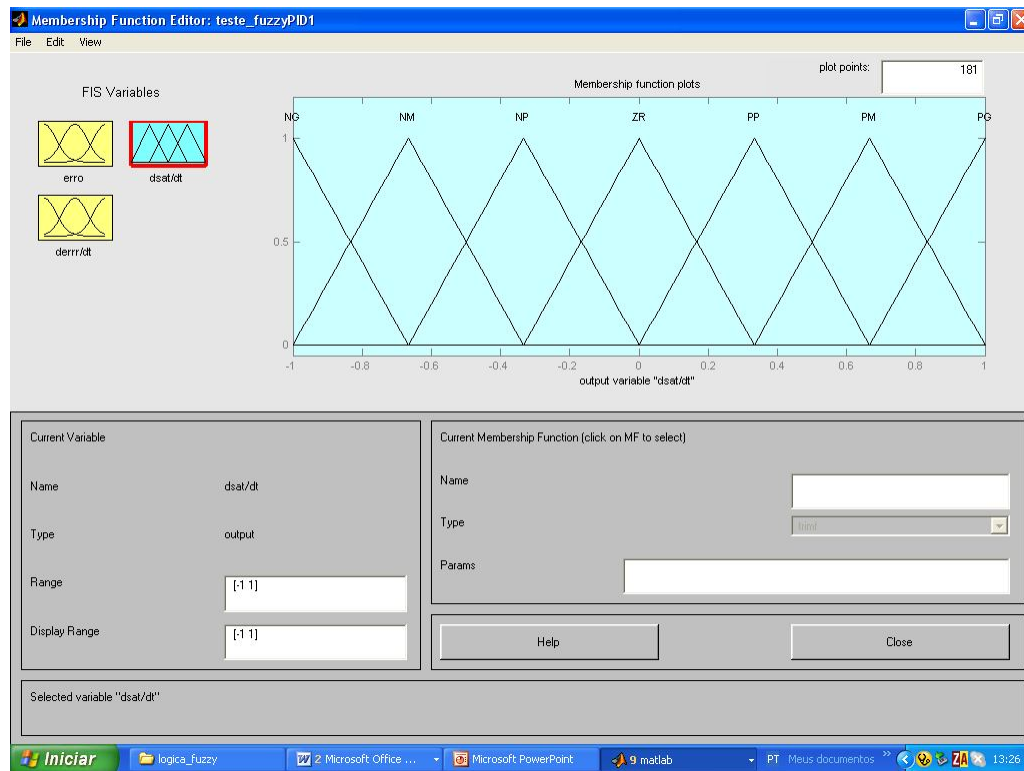
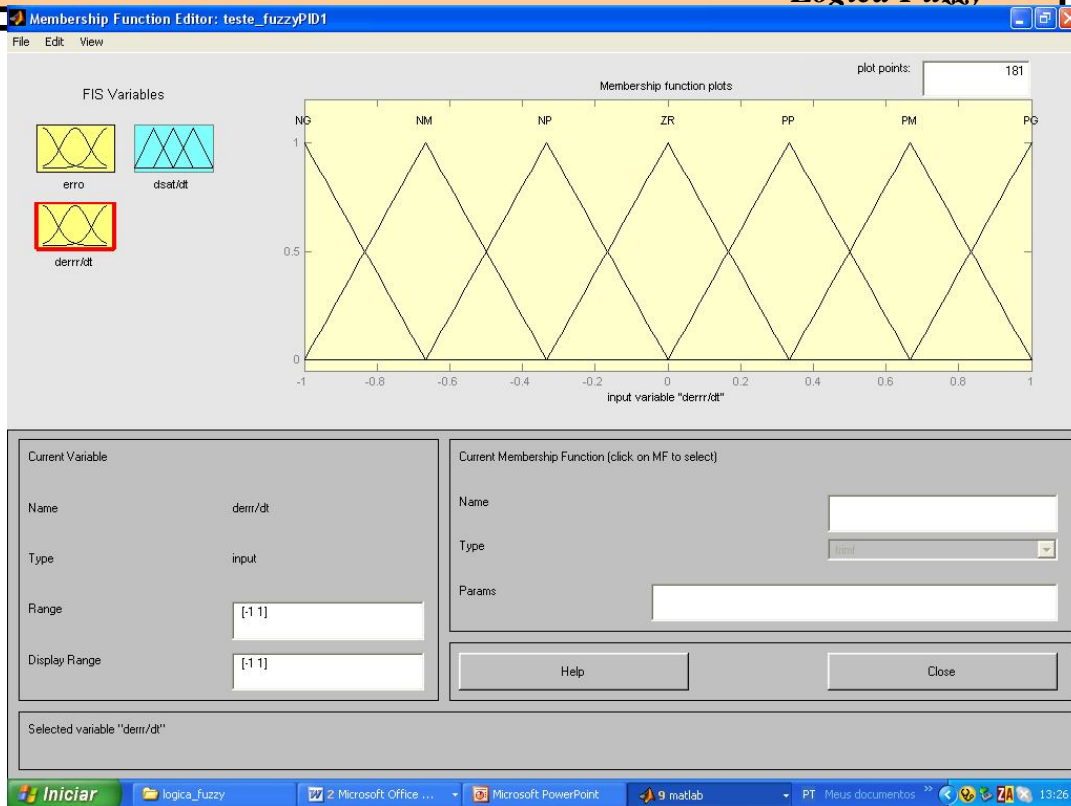
Utilizando o toolbox fuzzy no MatLab:





As funções de pertinência serão definidas como mostradas a seguir:





As regras, conforme proposto, são apresentadas abaixo:

