



# **Controle Fuzzy de Sistemas Dinâmicos**

## **Controle PI de um sistema simulado de tanques acoplados, baseado em fuzzy**

**Fernando Leandro Fernandes  
Rosenildo Pereira Aguiar Furtado  
Tiago Batista Silva Sousa**

**Professor: Fábio Meneghetti Ugulino de Araujo**

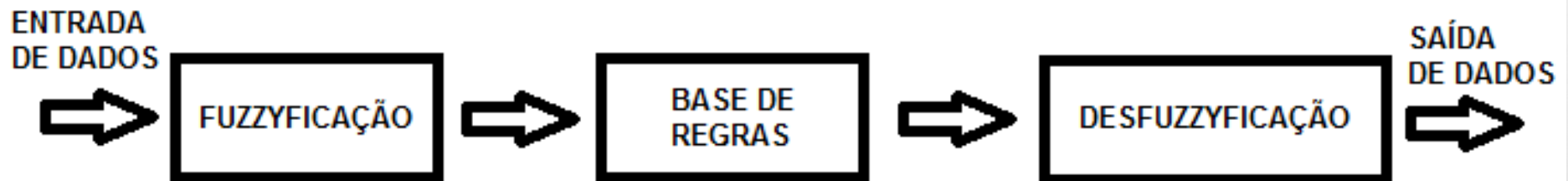
# LÓGICA *FUZZY*

Diferentemente da lógica booleana, as variáveis da lógica *fuzzy* podem assumir infinitos valores reais entre o completamente verdadeiro e/ou falso. Por causa disso, ela vem sendo, cada vez mais, utilizada em situações complexas, não-lineares, onde as variáveis assumem valores parciais, indeterminados.

# LÓGICA FUZZY

A teoria dos conjuntos nebulosos foi idealizada em 1965 pelo matemático e pesquisador Lotfali Askar-Zadeh. É a base da teoria que modela sistemas que lidam com dados e regras imprecisas.

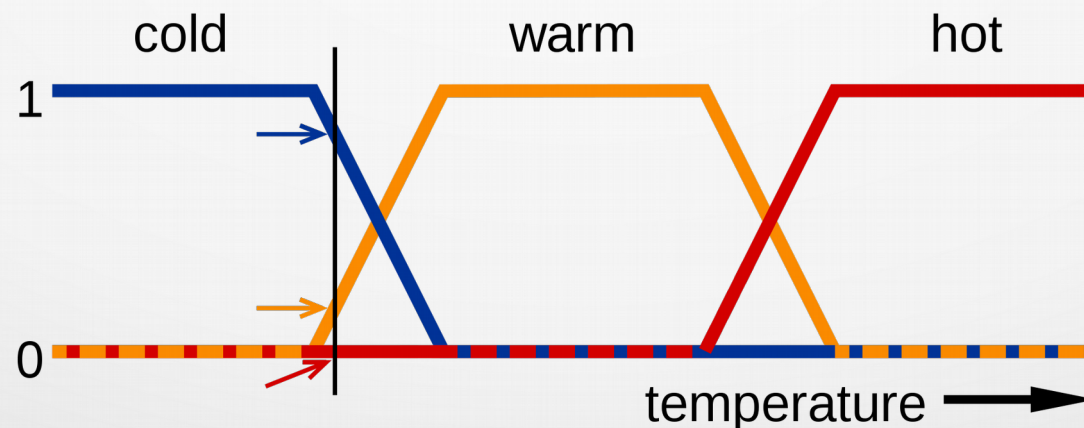
Ela consiste nas etapas de fuzzyficação, inferência e desfuzzyficação.



# FUZZYFICAÇÃO

Na *fuzzyficação*, as variáveis e as funções de pertinências são definidas de forma subjetiva.

Diversos tipos de espaços podem ser definidos para as funções de pertinências: triangular, trapezoidal, Singleton e Shouldered.





# BASE DE REGRAS, INFERÊNCIA

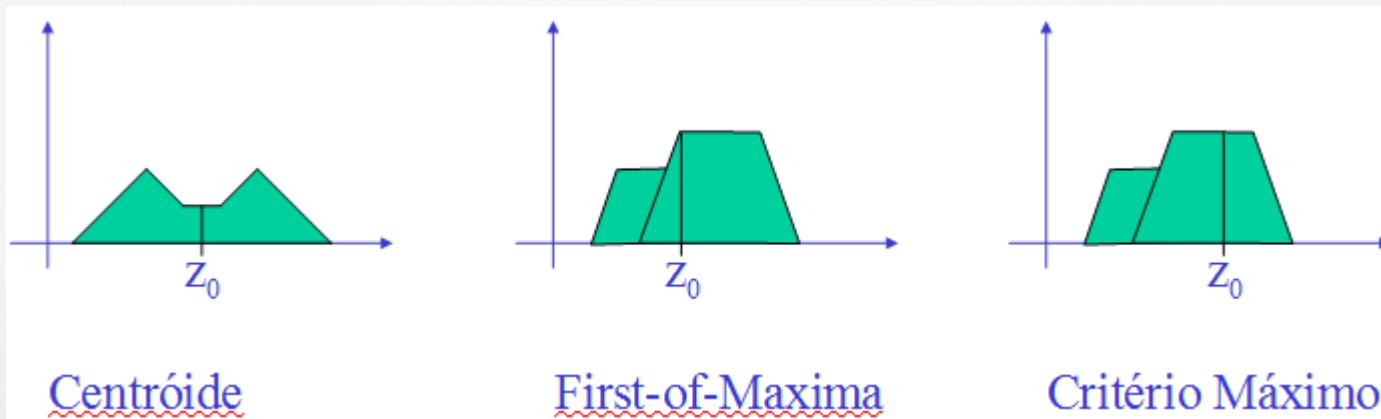
É o conjunto de regras que permitiram o sistema inferir uma resposta de saída a partir dos dados de entradas.

1. If (erro is EN) and (Varerro is VEN) then (output1 is descer) (1)
2. If (erro is EN) and (Varerro is VEZ) then (output1 is descer) (1)
3. If (erro is EN) and (Varerro is VEP) then (output1 is descer) (1)
4. If (erro is EZ) and (Varerro is VEN) then (output1 is descer) (1)
5. If (erro is EZ) and (Varerro is VEZ) then (output1 is manter) (1)
6. If (erro is EZ) and (Varerro is VEP) then (output1 is subir) (1)
7. If (erro is EP) and (Varerro is VEN) then (output1 is subir) (1)
8. If (erro is EP) and (Varerro is VEZ) then (output1 is subir) (1)
9. If (erro is EP) and (Varerro is VEP) then (output1 is subir) (1)

$\Delta e(k)$	$e(k)$		
	Negativo	Nulo	Positivo
Negativo	Descer	Descer	Subir
Nulo	Descer	Manter	Subir
Positivo	Descer	Subir	Subir

# DEFUZZIFICAÇÃO

É a etapa que converte as regiões *fuzzyficadas* em valores para as variáveis de saídas.



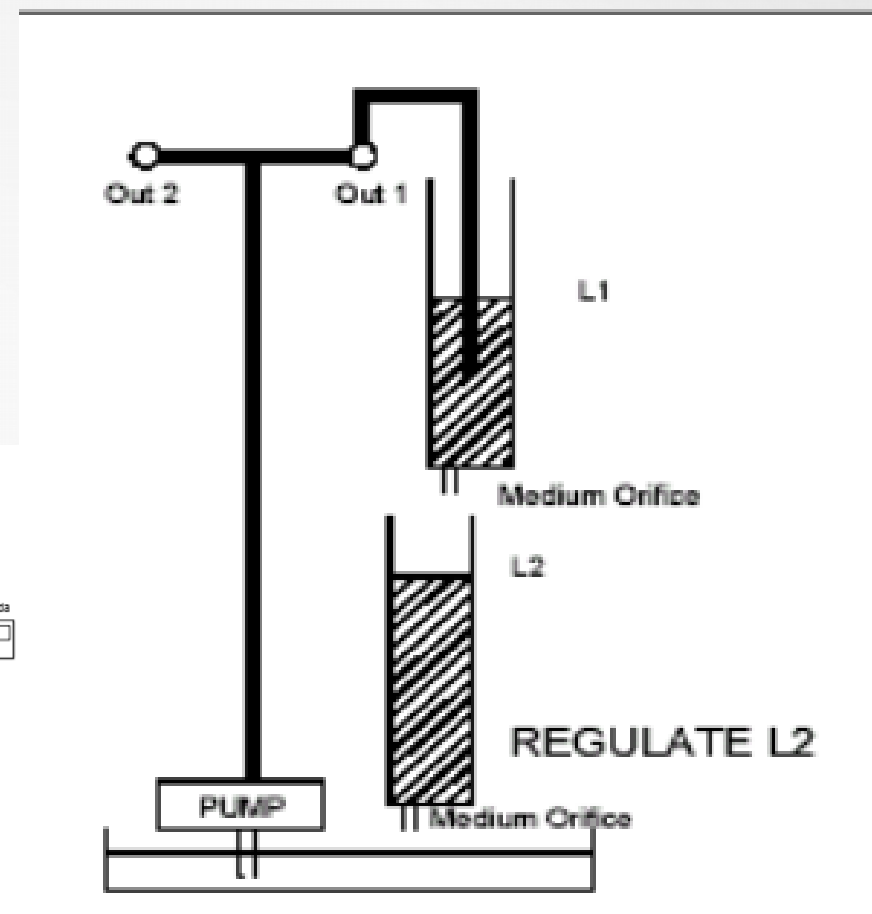
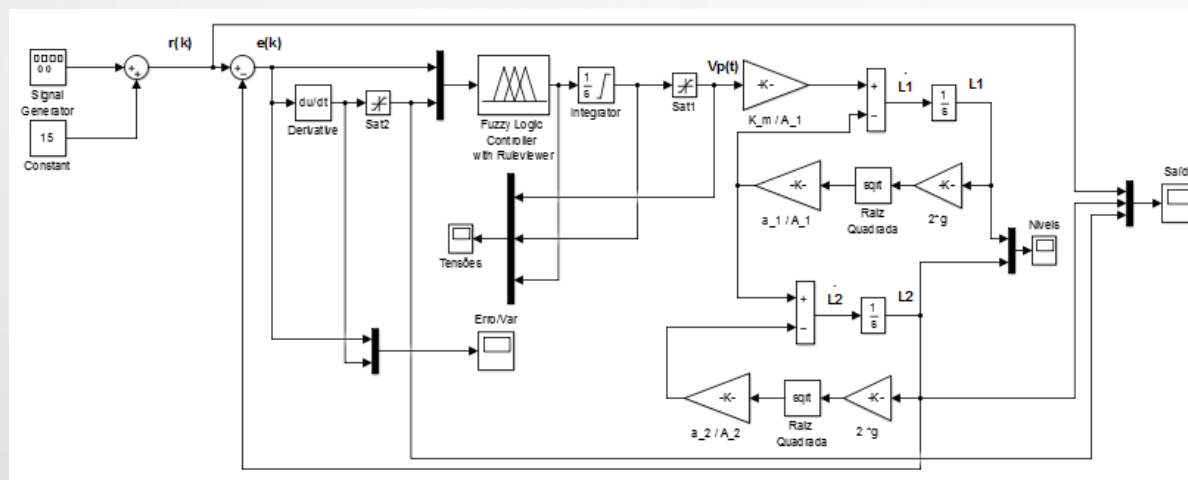
# ***DEFUZZIFICAÇÃO***

Centro de área: resultado numérico bom, porém não é viável em alguns casos, pois demanda muito esforço computacional;

Média dos máximos: Conseguir uma boa aproximação para o resultado sem demandar tanto esforço computacional. Foi o método utilizado por nós para a defuzzificação nos controladores Mamdani.

# Objetivo

Definir os parâmetros de um controlador PI clássico, a partir de um sistema *fuzzy* para o controle de nível de uma planta de tanques acoplados, simulada no Matlab.





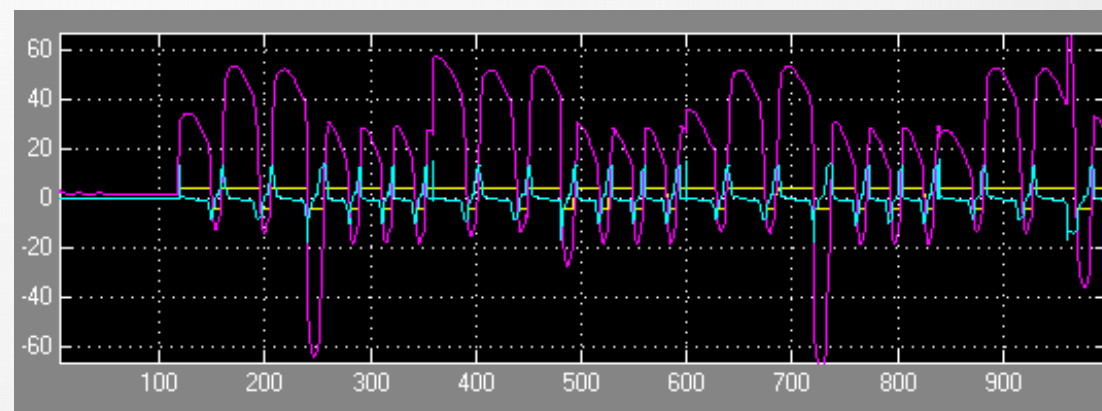
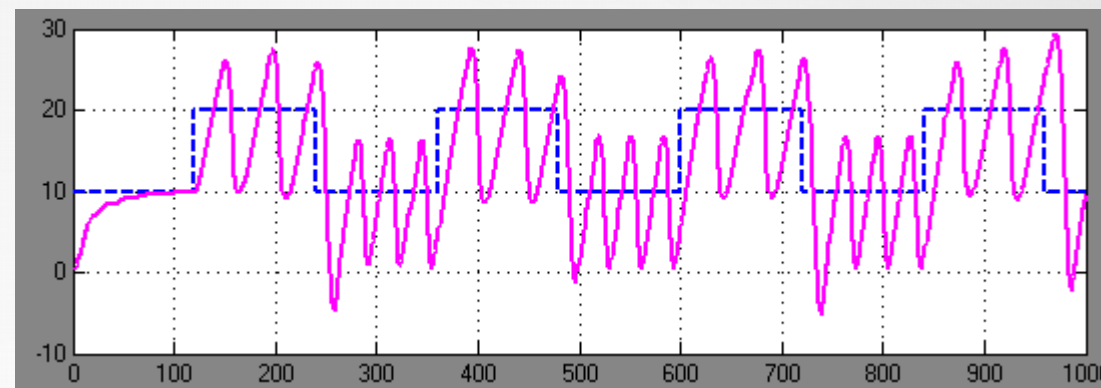
# Ações de controle

- Manter: ação de controle fraca, que visa apenas a estabilização do sistema quando este está perto do referencial;
- Subir: ação de controle moderada, que é ativada quando o tanque está abaixo do nível desejado;
- Descer: ação de controle moderada, que é ativada quando o tanque está acima do nível desejado;
- Subir Forte: ação de controle intensa, que é ativada quando o tanque está abaixo do nível desejado e continuando a secar;
- Descer Forte: ação de controle intensa, que é ativada quando o tanque está acima do nível desejado e continuando a encher.

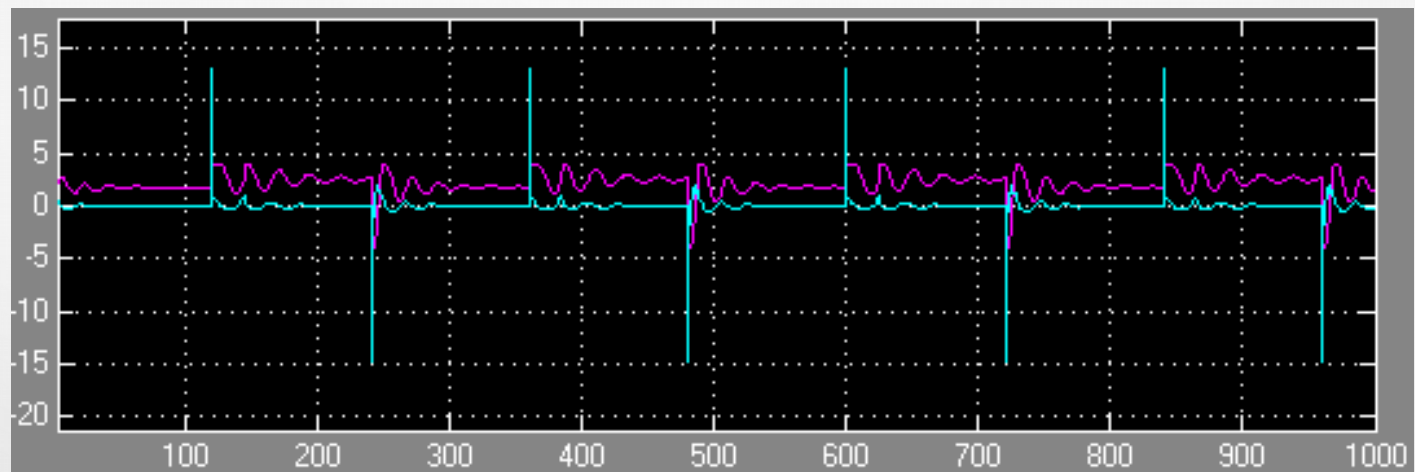
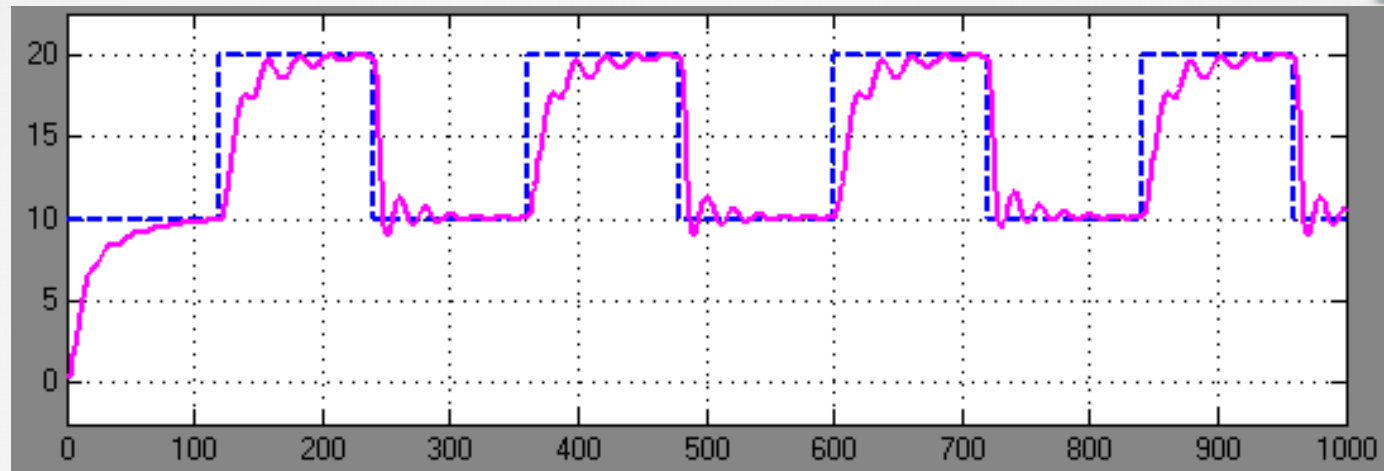
Obs: as ações de controle “Subir Forte” e “Descer Forte” não foram utilizadas em todos os controladores implementados.

# EFEITO INTEGRATIVO

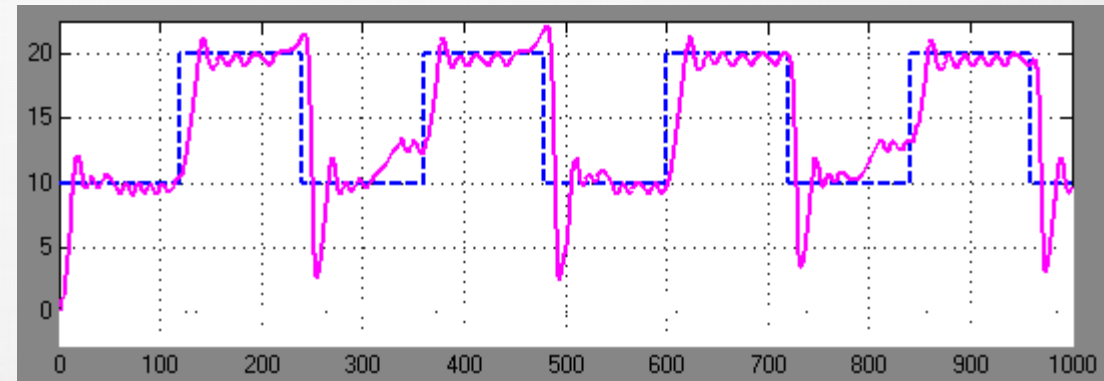
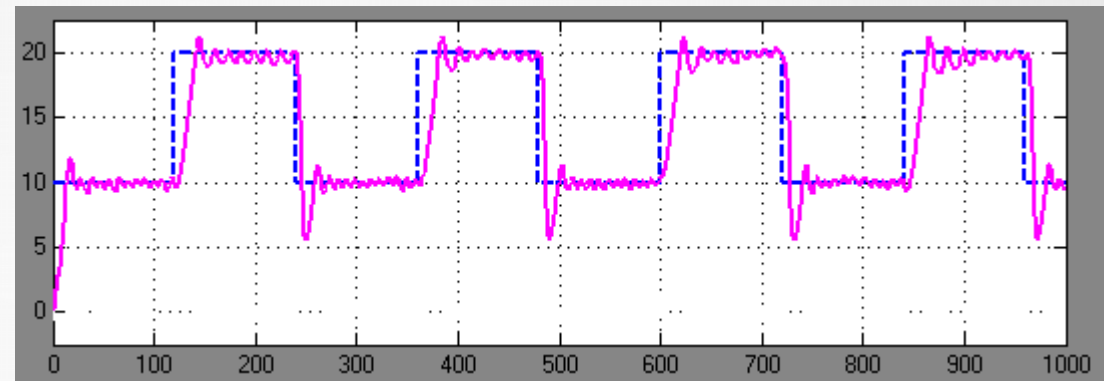
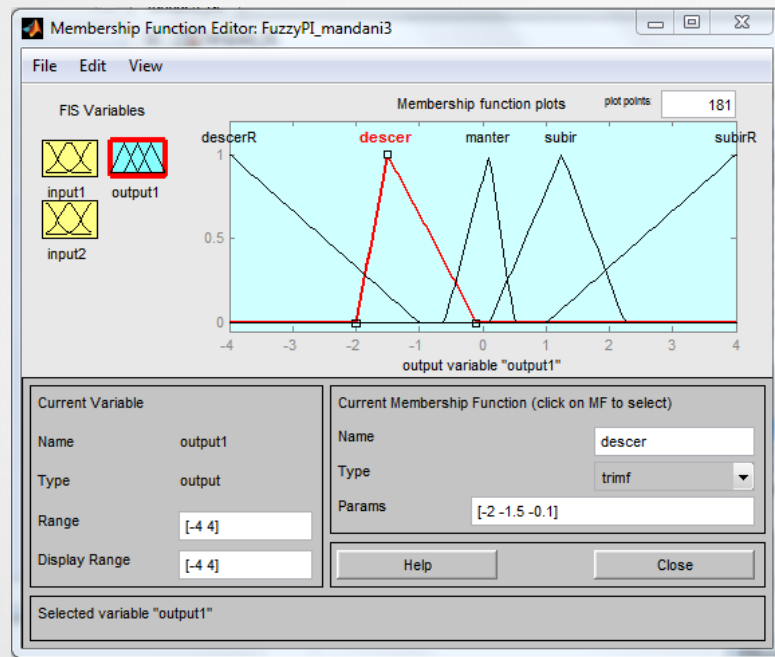
É o incremento do erro após a saturação do sinal de controle.



# EFEITO INTEGRATIVO

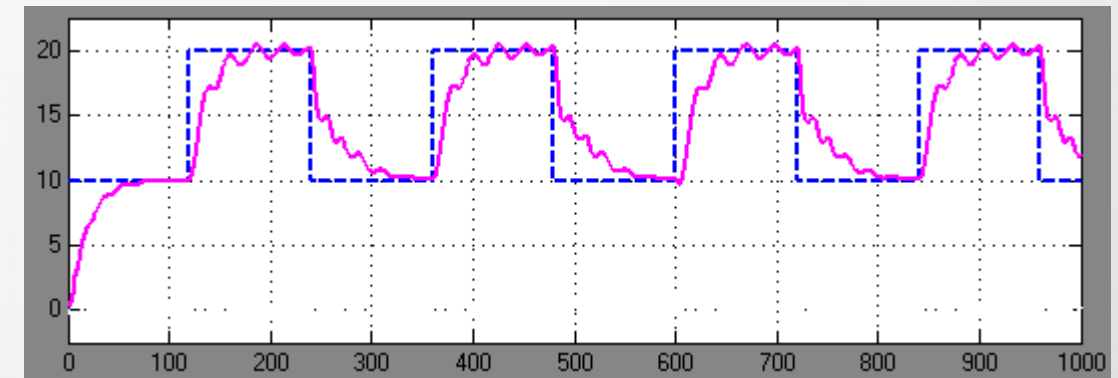
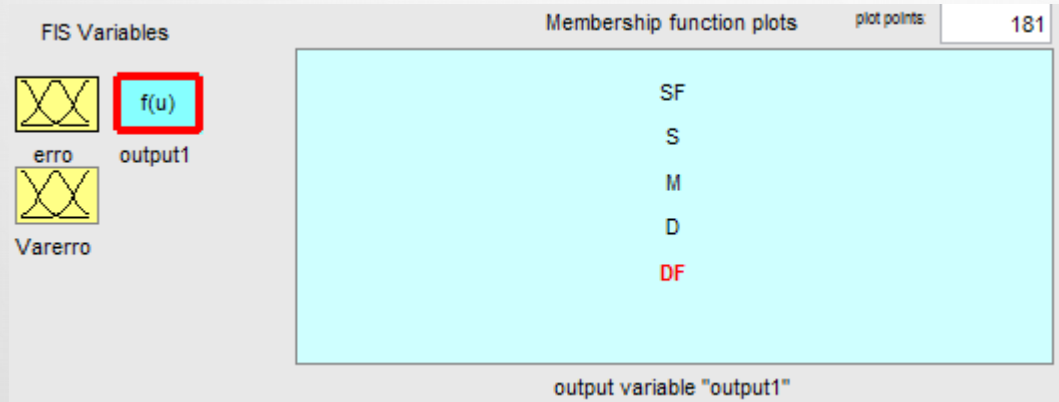
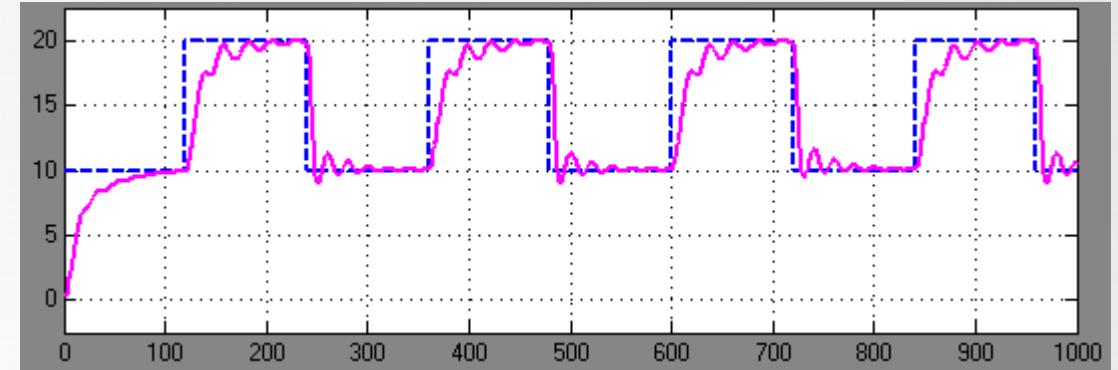
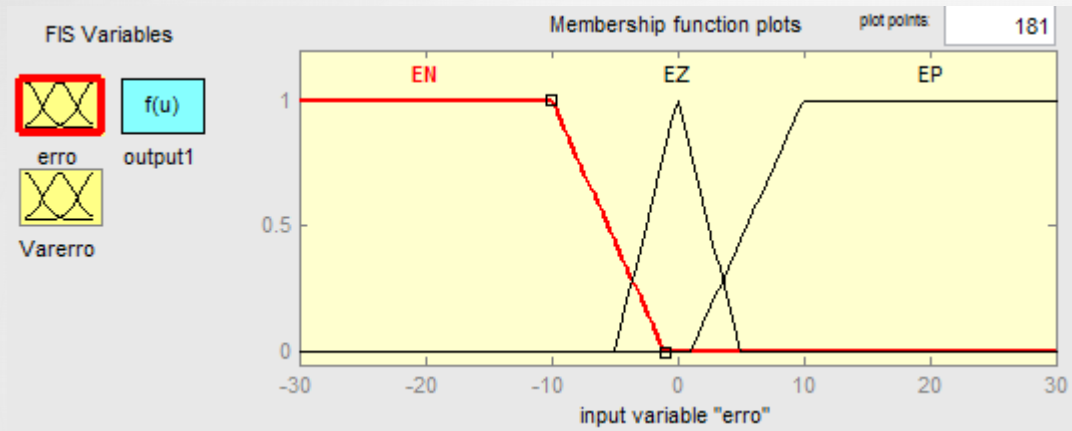


# Resultados - Mamdani





# Resultados - Sugeno



# Conclusões

- **Analizando os resultados obtidos podemos inferir que, apesar de mais complexo o controlador Mamdani controlou o sistema com tempo de acomodação menor.**
- **O controlador Sugeno apresentou menor overshoot em relação ao controlador Sugeno.**
- **O controlador Mamdani apresenta uma oscilação em torno do setpoint, conhecida como oscilação de ciclo mínimo.**
- **A experimentação proporciona insights como o de deslocar o alinhamento das regras de inferência para compensar a vazão do orifício de saída.**