

Controle de nível em Tanques acoplados usando controladores PID e Fuzzy

Paulo Costa

Objetivos

Neste exercício iremos controlar o nível em um sistema de tanques acoplados, um sistema não-linear, usando diversos controladores:

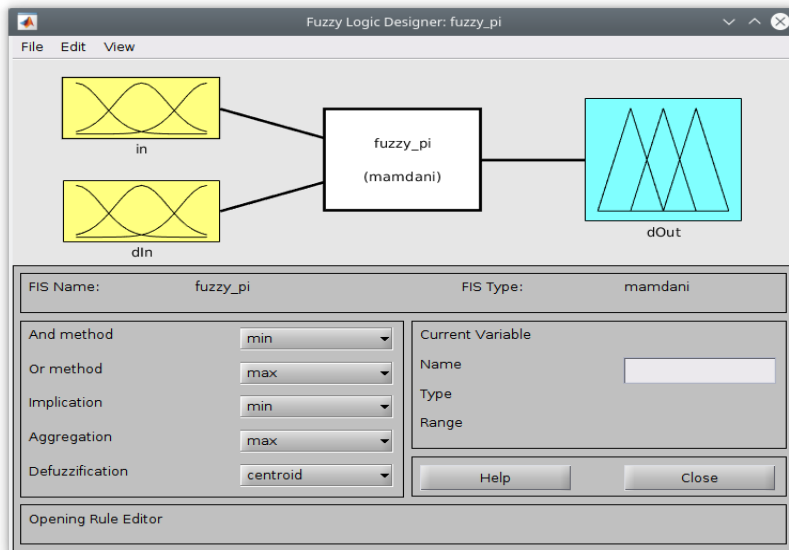
- Controlador PID otimizados níveis altos
- Controlador PID otimizados níveis baixos
- Controlador Fuzzy
- Controlador Fuzzy para interpolar o controle entre os diferentes controladores PID.

Para estes diversos controladores, vamos avaliar tempo de resposta, comportamento oscilatório e influência de ruídos

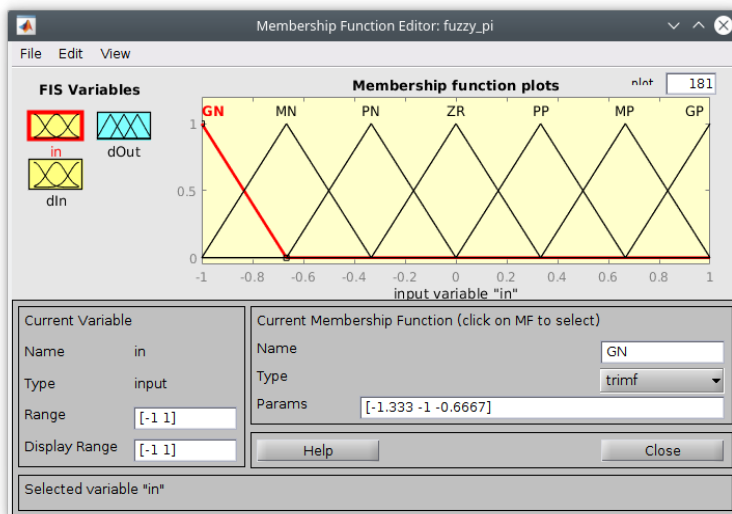
Controladores Fuzzy:

Fuzzy PI

O controlador Fuzzy PI possui duas entradas, Erro e Variação do Erro, e uma única saída, e substitui diretamente um controlador PID



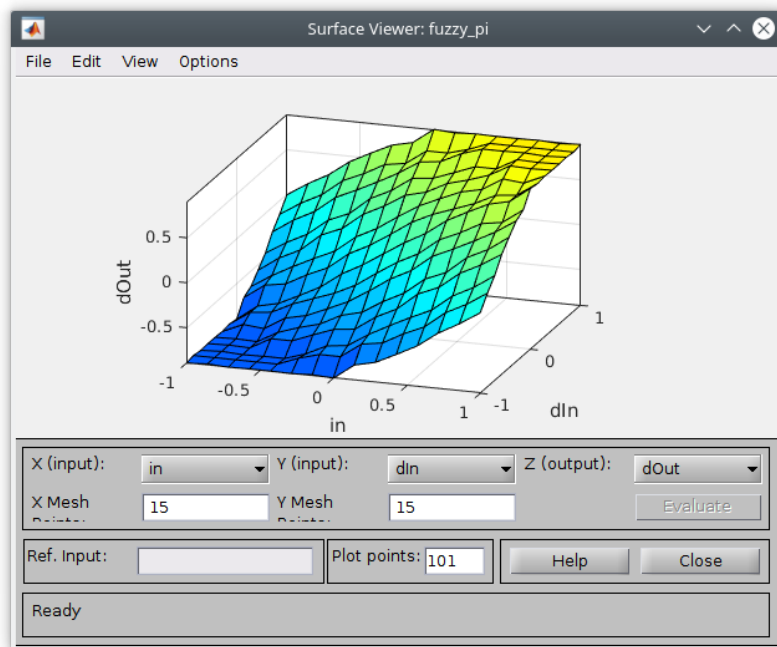
Cada uma das entradas e saídas possui intervalo $[-1, +1]$ e é dividida em 7 faixas de valor: GN, MN, PN, ZR, PP, MP, GP



As regras do controlador fuzzy são melhor expressas na forma de tabela:

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

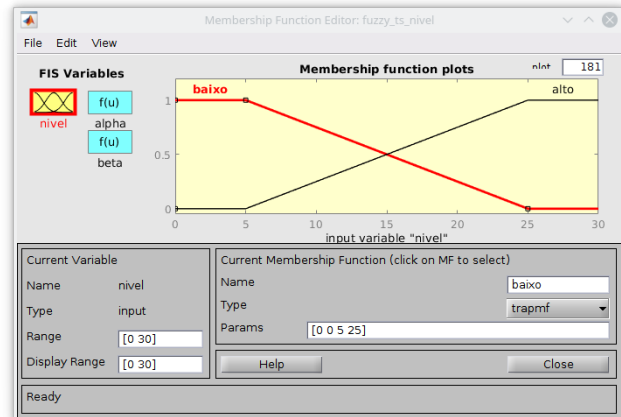
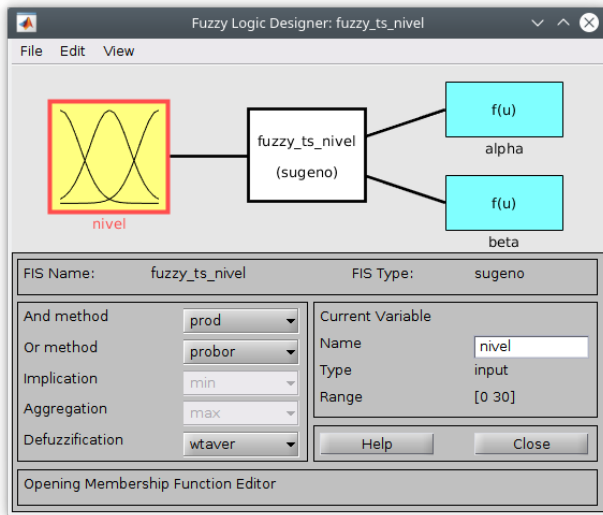
E aqui está a visualização da relação Entradas → Saída:



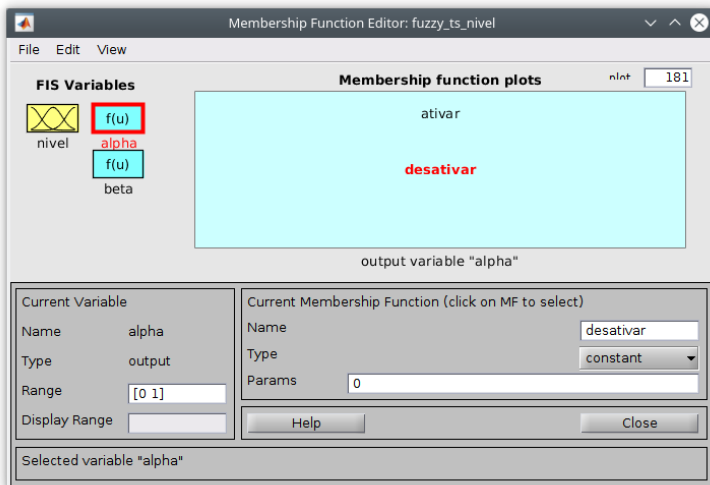
Fuzzy TS

O controlador Fuzzy TS é usado para interpolar os 2 controladores PID usados, cada um otimizado para diferentes setpoints.

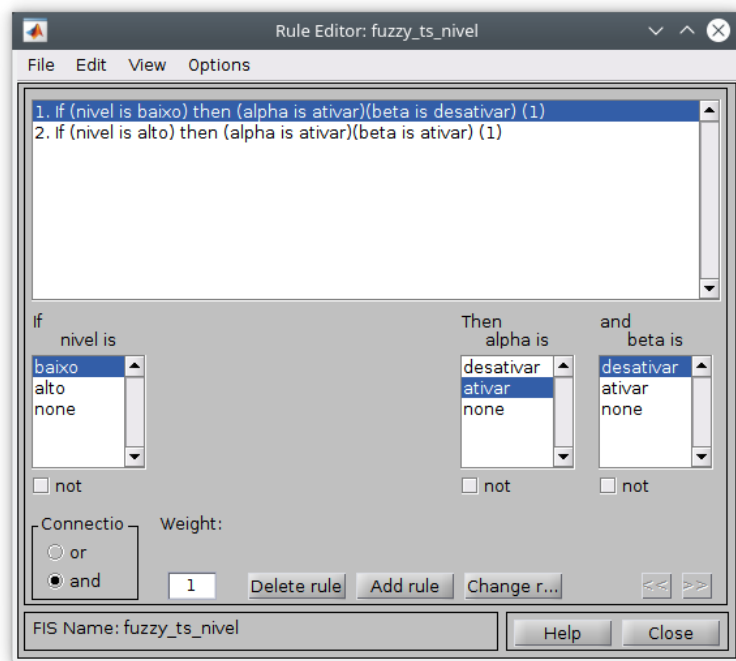
O controlador possui uma única entrada: a altura do tanque, sendo que um nível de 5cm é considerado baixo e 25cm é considerado alto



O controlador fuzzy possui 2 saídas, os pesos para interpolação dos 2 controladores PID



Este controlador possui apenas 2 regras, para níveis de entrada baixos e altos:



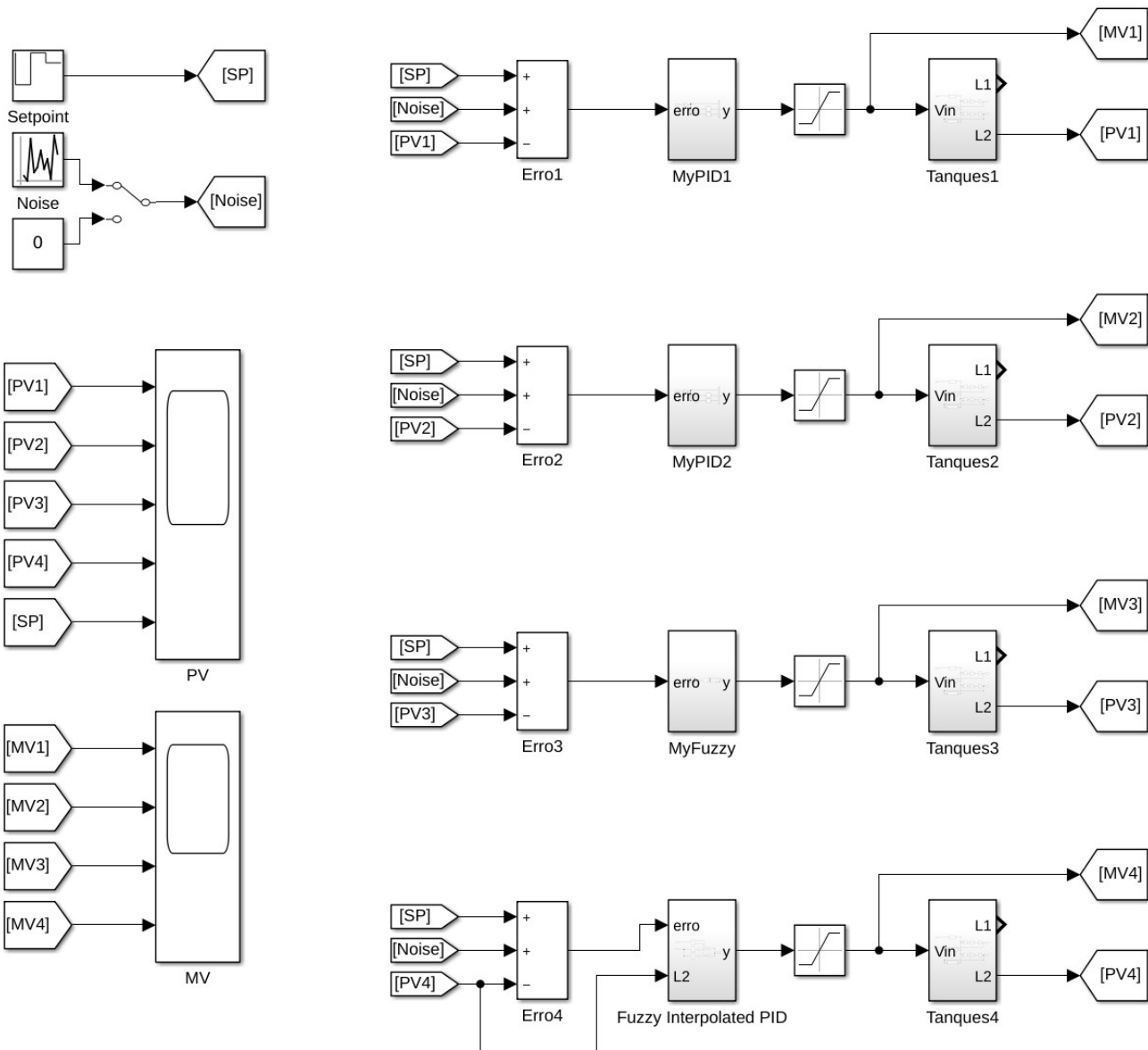
Tenho a impressão que na 2ª regra alpha deveria ser “desativado”, mas esta regra corresponde à video-aula e funciona bem.

Sistema de Controle

Simulação principal

No componente principal do simulink temos 4 controladores (MyPID1, MyPID2, MyFuzzy e FuzzyInterpolatedPID), cada um associado a um simulator de tanques acoplados.

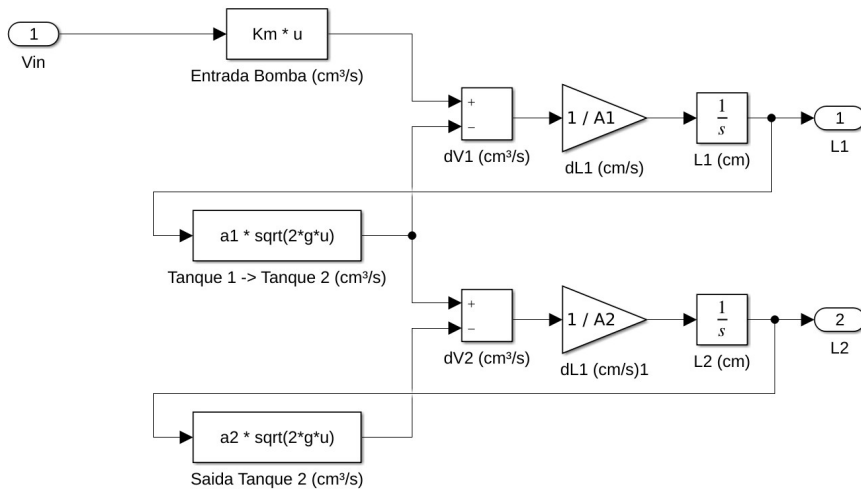
Opcionalmente, é possível adicionar ruído à entrada dos controladores.



Simulação de Tanques acoplados

Este subsistema simula o comportamento do sistema de tanques acoplados: A partir da tensão na bomba (Vin, entrada manipulada), este componente ele simula o nível nos dois tanques, L1 e L2.

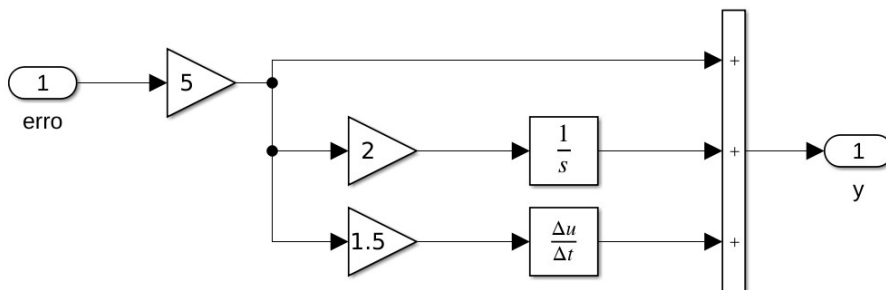
Neste exercício usamos apenas a saída do tanque 2 (saída controlada).



Controladores PID

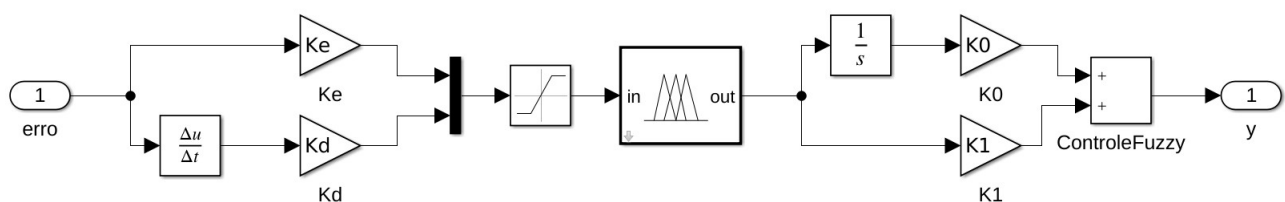
Os controladores PID foram implementados conforme a video-aula.

A única diferença entre eles é o coeficiente integral



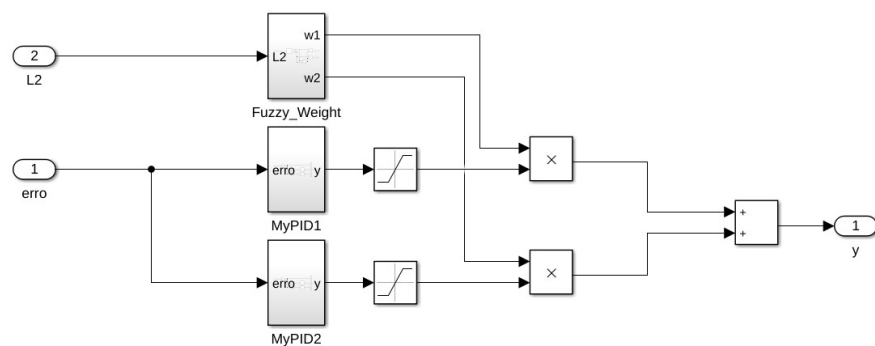
Controlador Fuzzy

O controlador Fuzzy PI é um pouco mais complicado:

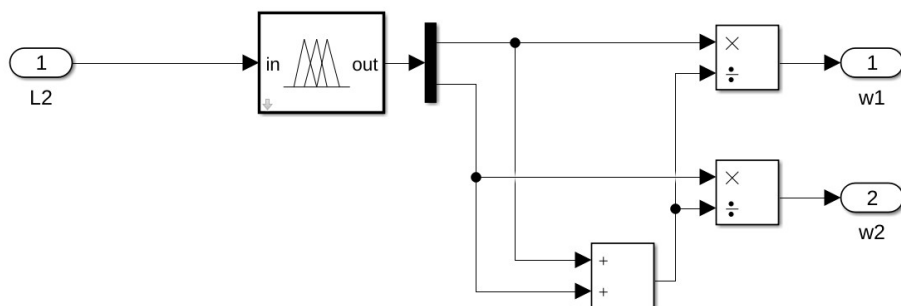


Controlador Fuzzy para Interpolar controladores PID

Este controlador possui cópias internas de ambos os controladores PID, e usa o nível para determinar o peso de cada controlador na interpolação.



O subsistema Fuzzy_Weight inclui o controlador fuzzy em si e a normalização das saídas, para que a soma seja 1



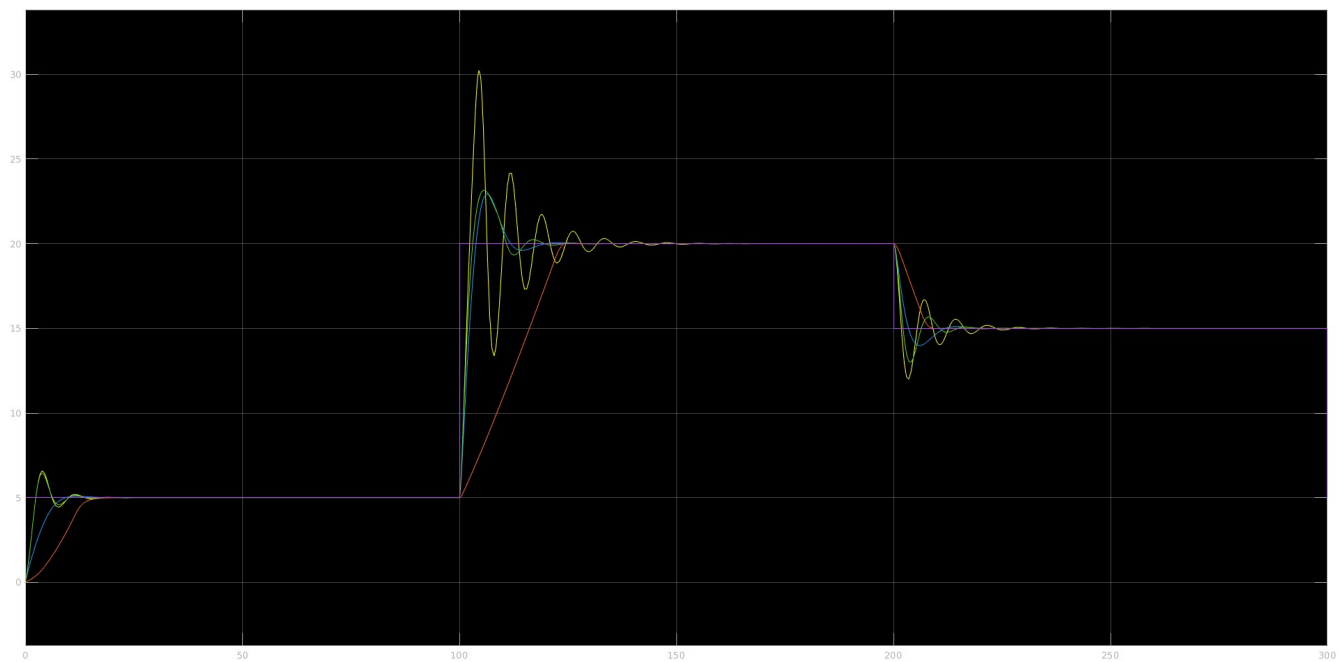
Resultados

Em todos os gráficos a seguir, temos:

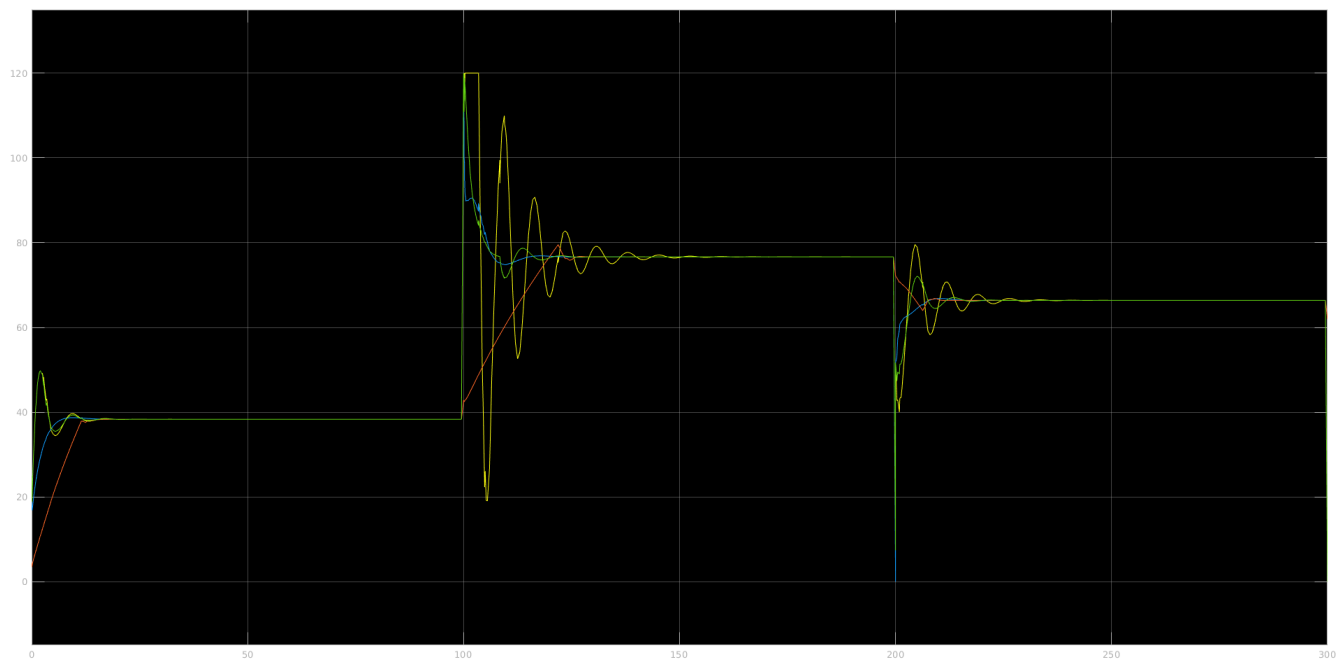
Variável	Cor
PID 1	Amarelo
PID 2	Azul
Fuzzy PI	Vermelho
Fuzzy Interpolando PIDs	Amarelo
Setpoint	Roxo

Simulação Sem ruídos

Nível dos Tanque 2 (Variavel Controlada):

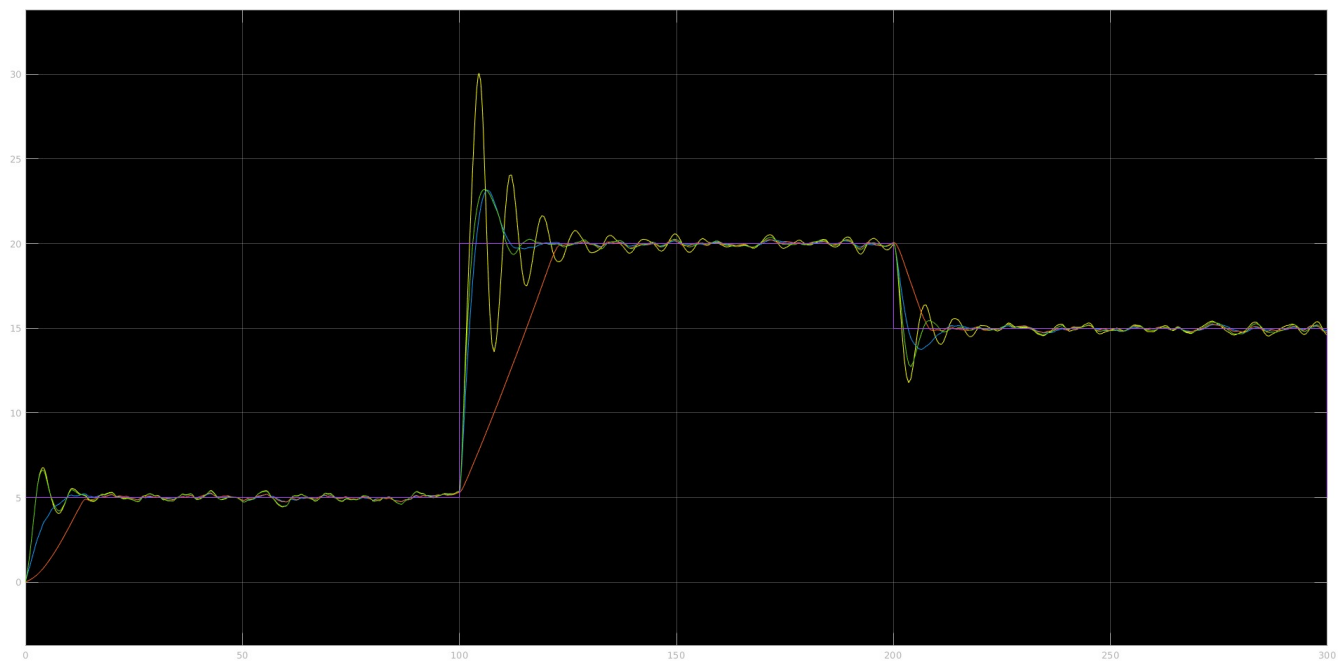


Tensão de controle da Bomba (Variável manipulada):

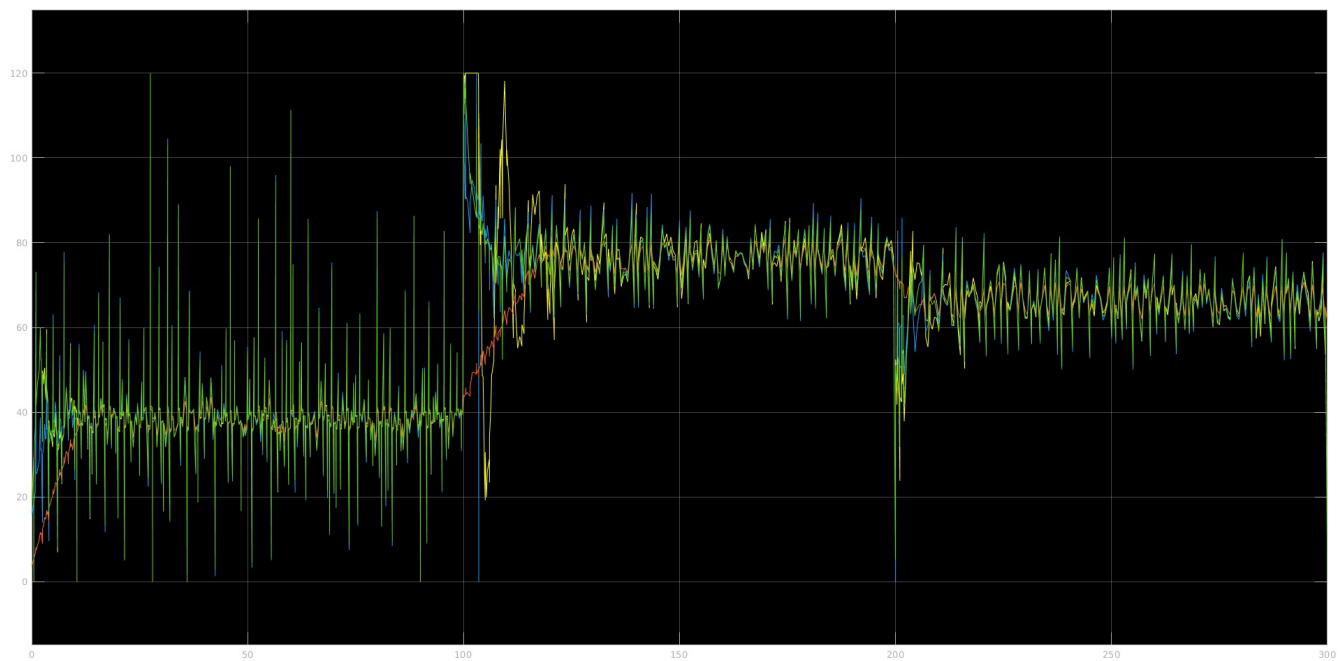


Simulação Com ruídos

Nível dos Tanque 2 (Variavel Controlada):



Tensão de controle da Bomba (Variável manipulada):



Conclusões

Comparando os sistemas de controle, observamos que:

- O PID 1 possui uma resposta rápida e com pouco overshoot em níveis baixos, mas é bastante instável em níveis altos
- O PID 2 possui uma resposta um pouco lenta em níveis baixos, mas funciona bem nos níveis mais altos, apesar de um pouco de overshoot.
- O controlador Fuzzy PI é um pouco mais lento que os controladores PID, mas é **extremamente** estável, sem nenhum sinal de overshoot ou instabilidade. Além disso, é o controlador mais robusto em relação a ruídos:

A altura do tanque fica mais estável do que nos demais controladores e, em especial, a tensão do motor (variável manipulada) é modificada de forma contínua e não possui picos momentâneos como a dos controladores PID.

- O controlador Fuzzy Interpolando PIDs possui o melhor de cada um dos PIDs: Em níveis baixos ele é rápido como o PID1, e em níveis altos ele é estável como o PID2. Porém este controlador não tem a robustez contra ruídos do Controlador Fuzzy PI.