

Malha Fechada

2 de Junho de 2020

1 Modelo de simulação

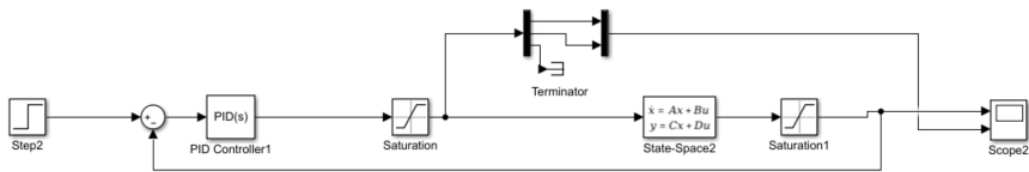


Figura 1: Diagrama de blocos

```
A1=5;
A2=5;
A3=5;
qi1=5;
qi2=2;
rh1=1;
rh2=1;
rh3=1;

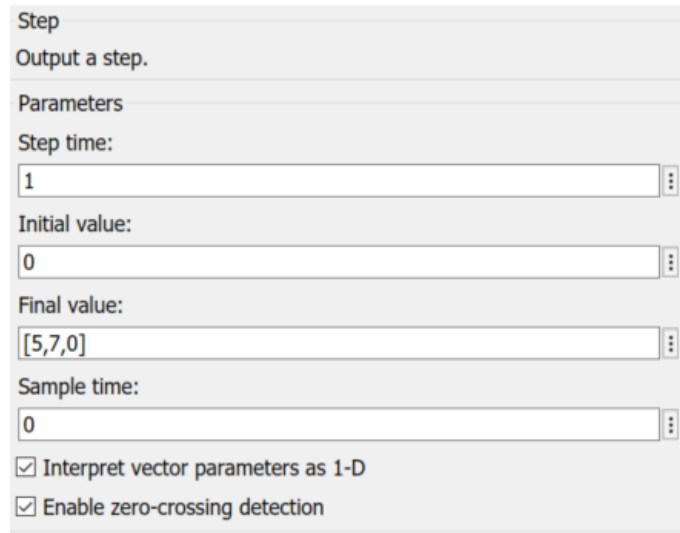
A = [ (-1/(A1*rh1)), 0, 0; (1/(A2*rh1)), (-1/(A2*rh2)), 0; 0, (1/(A3*rh2)), (-1/(A3*rh3)) ];
B=[1/A1, 0, 0; 0, 1/A2, 0; 0, 0, 0];
C=[1, 0, 0; 0, 1, 0; 0, 0, 1];
D=[0, 0, 0; 0, 0, 0; 0, 0, 0];

u=[qi1;qi2];
```

Figura 2: Inicialização de parâmetros e matrizes

2 Simulações

Inicialmente programou-se o sistema contínuo em malha fechada no simulink 1. De seguida definiram-se valores de referência iniciais para as variáveis de saída na figura 3.



The image shows the configuration window for a 'Step' block in Simulink. The 'Parameters' section is expanded, showing the following settings:

- Step time:** 1
- Initial value:** 0
- Final value:** [5,7,0]
- Sample time:** 0
- ☒ Interpret vector parameters as 1-D
- ☒ Enable zero-crossing detection

Figura 3: Definição dos degraus de referência para as variáveis de saída

2.1 Simulação do Controlador Proporcional

Começou-se por simular o controlador apenas proporcional. Realizaram-se duas simulações $K_p = 1$ (figura 4) e $K_p = 2$ (figura 5), verificando-se que o aumento do ganho proporcional provocou uma resposta mais rápida do sistema atingindo-se o regime permanente da variáveis h_1 e h_2 mais cedo, à custa de valores mais elevados das entradas q_{i1} e q_{i2} (que até atingiram o limite de saturação imposto). A variável h_3 não foi afetada pois como se verificou esta variável não depende do valor da sua referência e atinge sempre o valor de h_2 em steady state. Note-se que para se conseguir controlar h_3 seria necessário introduzir uma outra entrada q_{i3} ou então uma nova saída de água no tanque 3. Por outro lado, dados os valores das resistências hidráulicas, mesmo que o valor de referência do tanque 2 seja menor que o do tanque 1, o tanque 2 nunca poderá encher menos que o tanque 1.

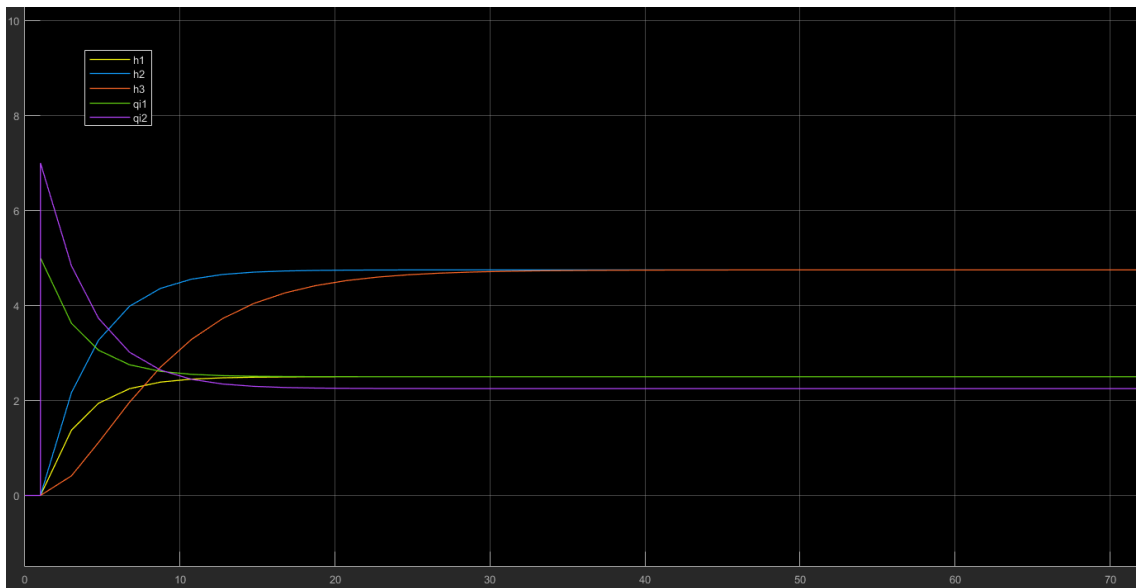


Figura 4: Simulação do Controlador proporcional ($K_p = 1$)

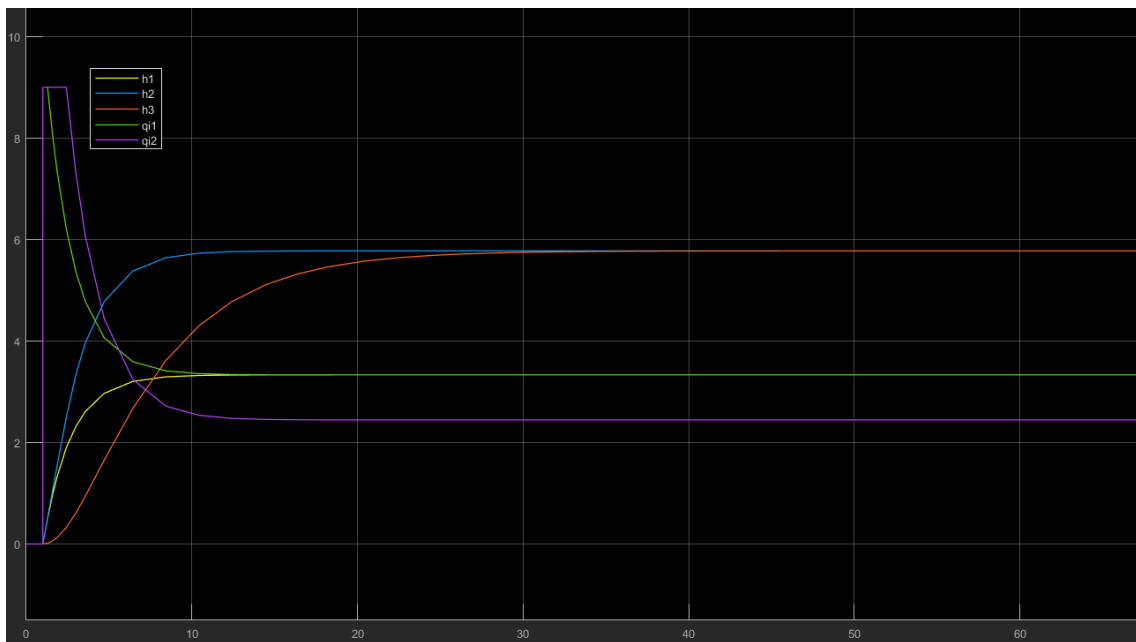


Figura 5: Simulação do Controlador proporcional ($K_p = 2$)

2.2 Simulação do Controlador proporcional e integral

A segunda simulação baseou-se no controlador proporcional-integral. Com os testes realizados reparou-se que a simulação com $K_p = 1$ e $K_i = 0.1$ na figura 6 não causava overshoot das variáveis de saída mas causava algum erro em regime permanente. Por outro lado, aumentando K_i para 0.2 na figura 7, não existiu erro em steady state mas passou a existir overshoot. Para além disso, na figura 8 constatou-se que o aumento da constante proporcional ($K_p = 2$) para o mesmo K_i da figura 7 ($K_i = 0.2$) retirava o overshoot das variáveis de saída e aumentava a velocidade de resposta do sistema, atingindo-se o regime permanente em menos tempo.

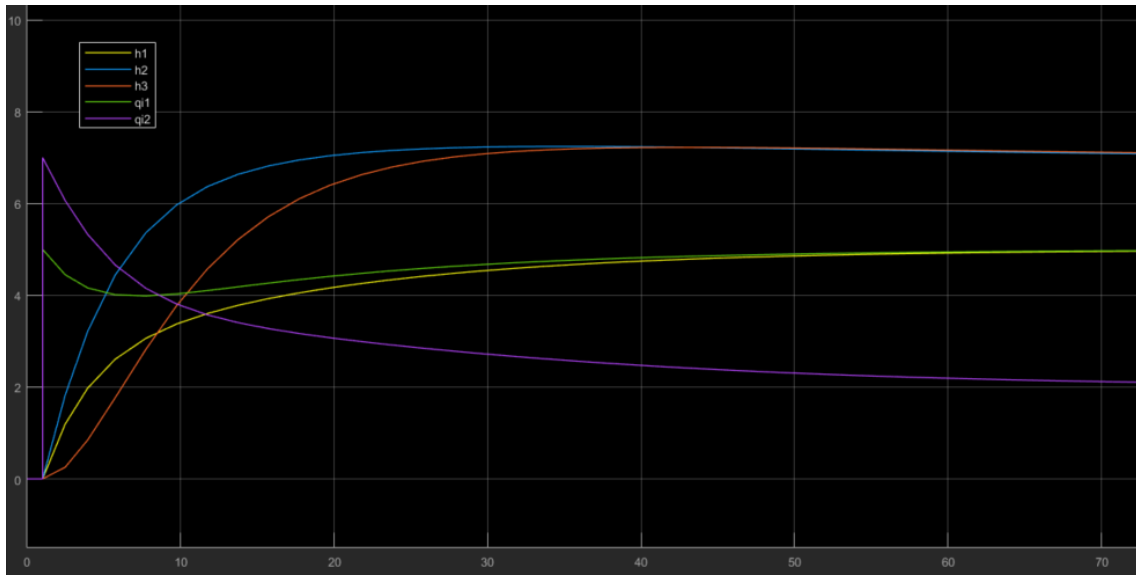


Figura 6: Simulação do Controlador proporcional-integral ($K_p = 1$ e $K_i = 0.1$)

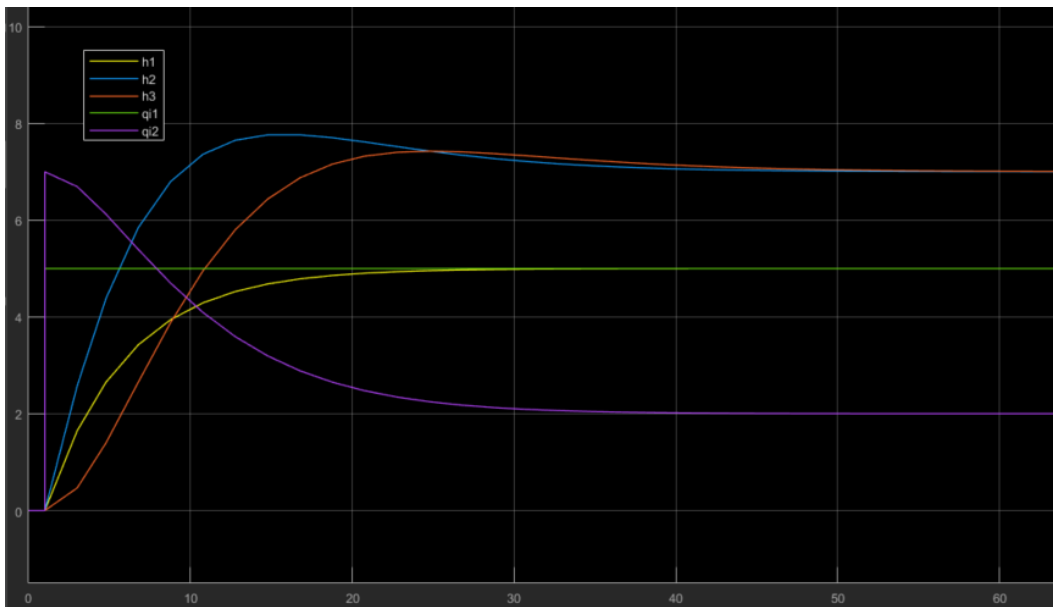


Figura 7: Simulação do Controlador proporcional-integral ($K_p = 1$ e $K_i = 0.2$)

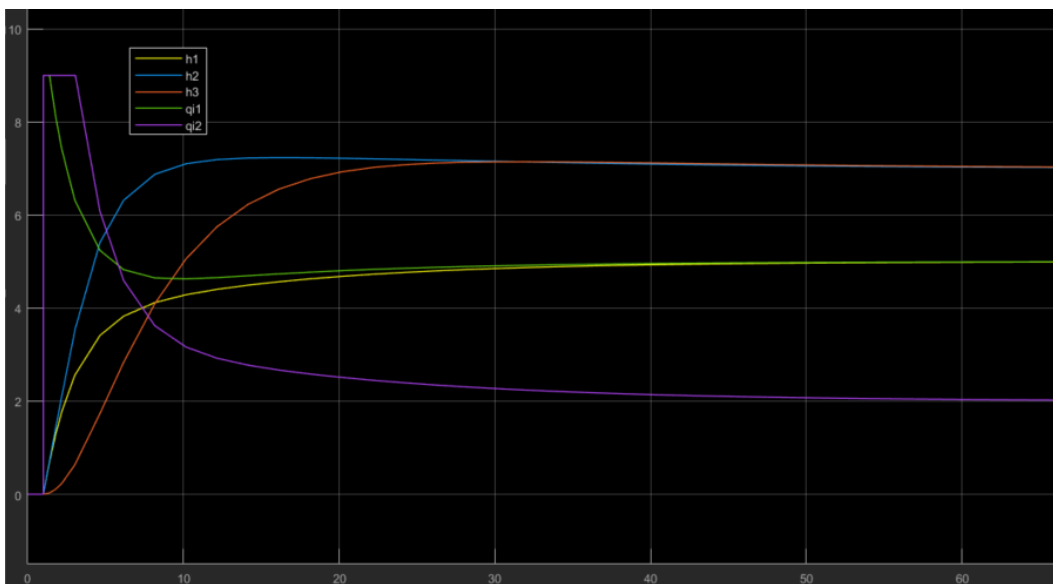


Figura 8: Simulação do Controlador proporcional-integral ($K_p = 2$ e $K_i = 0.2$)

2.3 Simulação do Controlador proporcional e derivativo

Com a simulação do controlador proporcional-derivativo observou-se que a introdução da parte derivativa causava oscilações das variáveis q_{i1} e q_{i2} face à simulação apenas proporcional na figura 9 e que para $K_p = 1$ já se verificava saturação nas variáveis de entrada. Ora, o aumento desta constante derivativa aumenta ainda mais as oscilações das variáveis q_{i1} e q_{i2} (figura 10). Verificou-se também que o aumento da constante proporcional não afeta muito as oscilações existentes mas que para o valor de $K_p = 2$ (com $K_d = 0.5$) as oscilações de q_{i1} quase que desaparecem (figura 11).

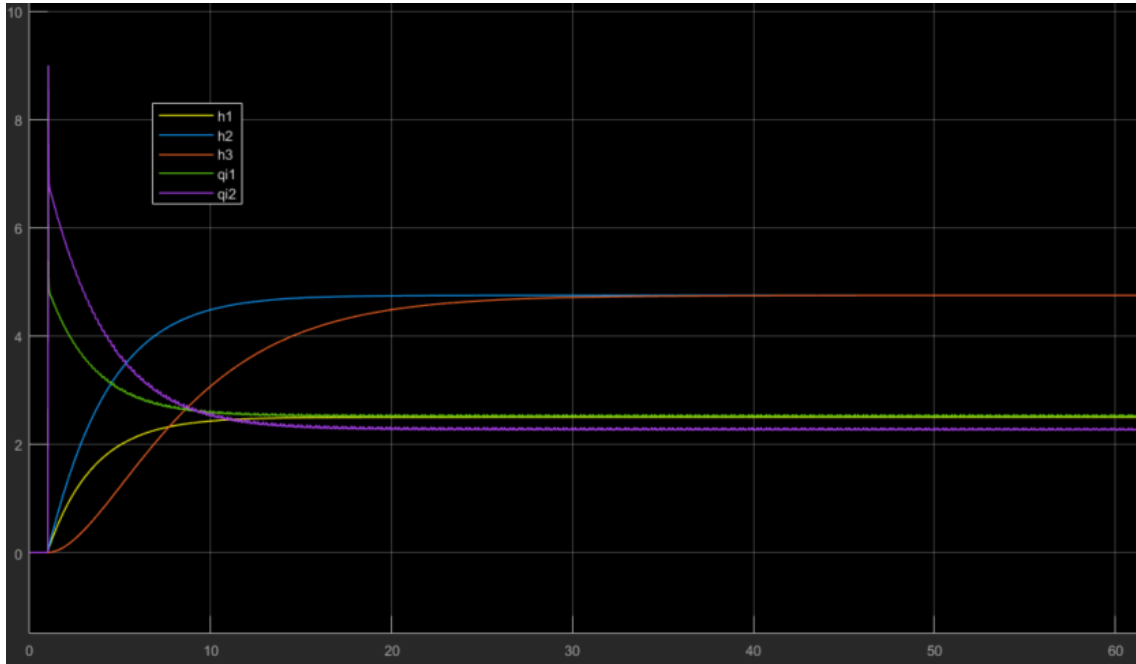


Figura 9: Simulação do Controlador proporcional-derivativo ($K_p = 1$ e $K_d = 0.1$)

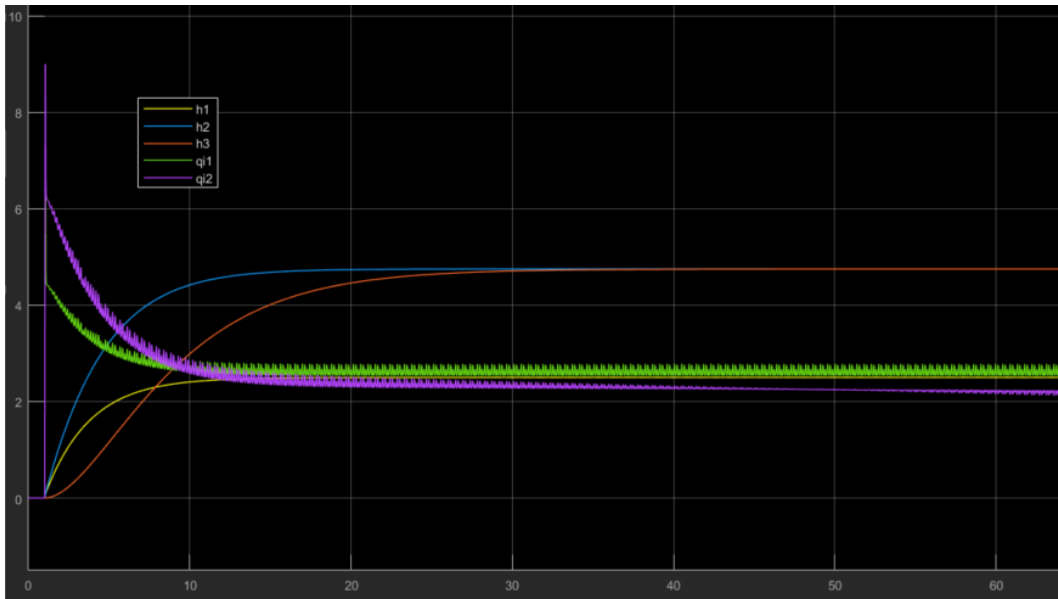


Figura 10: Simulação do Controlador proporcional-derivativo ($K_p = 1$ e $K_d = 0.5$)

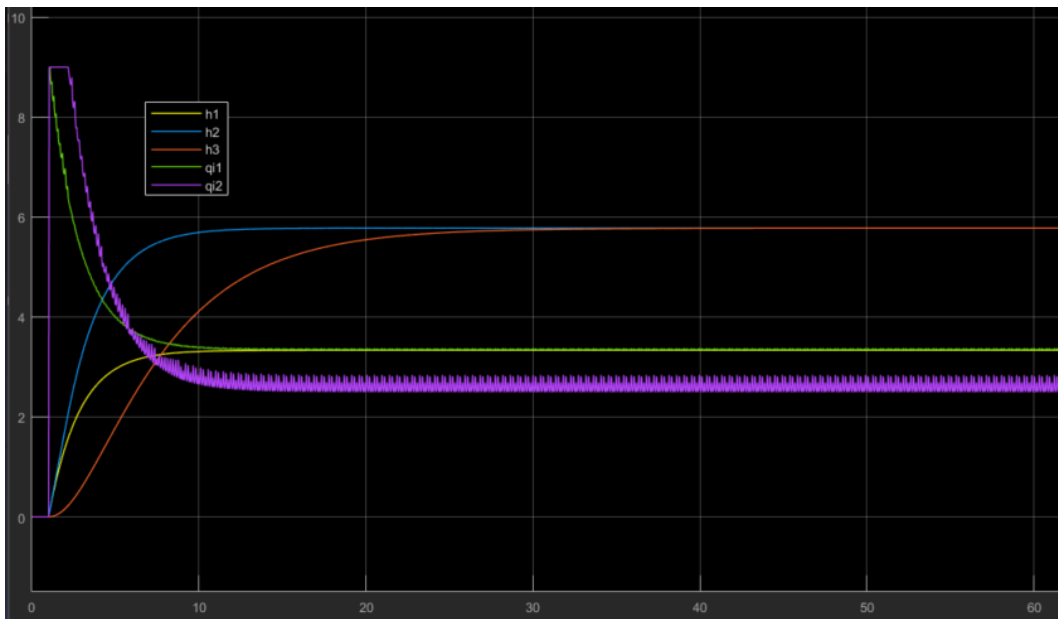


Figura 11: Simulação do Controlador proporcional-derivativo ($K_p = 2$ e $K_d = 0.5$)

2.4 Simulação do Controlador PID

A última simulação efetuada foi a do controlador PID. Do mesmo modo que na simulação do controlador PD o aumento da constante proporcional causa oscilações nas variáveis q_1 e q_2 . O caso ótimo foi obtido para os valores das constantes que se encontram na figura 12.

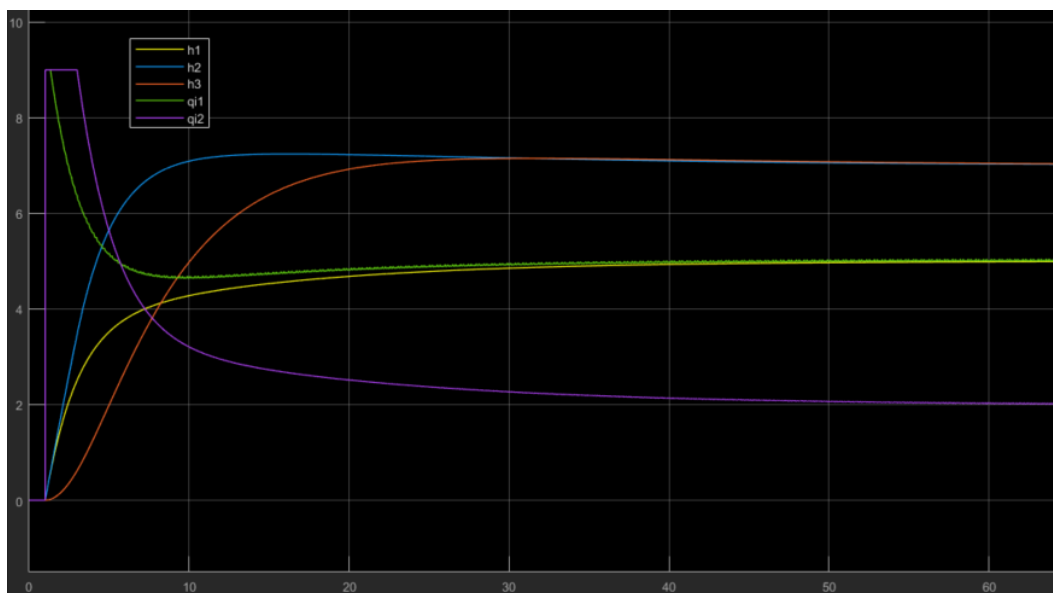


Figura 12: Simulação do Controlador PID ($K_p = 2$ e $K_i = 0.2$ e $K_d = 0.1$)

3 Conclusão

Com as simulações efetuadas, foi possível tirar algumas conclusões:

- A simulação ideal, ou seja com melhores resultados em termos de overshoot, velocidade de resposta e oscilações é o controlador PI com $K_p = 2$ e $K_i = 0.2$;
- Não é possível controlar a variável h_3 (altura do terceiro tanque) sem introduzir mais uma entrada (torneira 3) ou mais uma saída de água no tanque 3;
- Apesar de h_2 ser controlável, este valor nunca pode estar abaixo de h_1 dado a limitações físicas do sistema;