

PME3403 - Laboratório de Vibrações e Controle

L6 - Controle de Nível de Reservatório

Autor: Prof. Dr. Walter Ponge-Ferreira

E-mail: ponge@usp.br

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia Mecânica - PME

Av. Prof. Mello Moraes, 2231

São Paulo SP 05508-970 BRASIL

Tel.: 55 (0)11 3091-9677

Cel: 55 (0)11 97244-0900

14 de agosto de 2018



Figura 1: Planta física com dois reservatórios de água

1 Familiarização, Calibração e Identificação do Sistema

O objetivo da atividade é estudar a dinâmica de dois reservatórios de água interconectados e projetar um controlador de nível de água. Serão realizadas atividades de modelagem e simulação, identificação de parâmetro, projeto e implementação de controlador de nível do reservatório.

O sistema físico, mostrado na figura 1, é composto de dois reservatório de água conectados entre si através de uma tubulação regulada por um registro de esfera manual, que pode ser ajustada para regular a perda de carga nesse duto. A vazão de saída do segundo reservatório é regulada por um segundo registro de esfera manual. O primeiro reservatório é alimentado por cima através de uma bomba hidráulica, cuja vazão é controlada por uma servoválvula. O nível de água dos reservatórios pode ser medido através de um transdutor de pressão, que mede a pressão hidrostática no fundo do reservatório. Só existe um único transdutor de pressão, que pode ser comutado para medir a pressão ora no primeiro, ora no segundo reservatório.

Antes de iniciar os experimentos é necessário familiarizar-se com o sistema, calibrar a servoválvula de controle de vazão e o transdutor de pressão para leitura nos dois reservatórios.

Pede-se:

- a) Descrever o sistema hidráulico, seu funcionamento, atuação da servoválvula e medição de nível.
- b) Calibrar a indicação do transdutor de pressão para leitura de nível nos dois reservatórios:
 - Faça a leitura da tensão de saída do transdutor de pressão para diversos níveis de água (pelo menos 20 pontos) do *reservatório 1*.
 - Repita a calibração para o *reservatório 2*.
- c) Calibrar a servoválvula de controle de vazão. Com o registro de esfera de saída fechado, realize o ensaio de enchimento do reservatório para diferentes valores de

vazão. (Ajuste a tensão de acionamento da servoválvula para valores variando de $0,5 V$ a $5,0 V$, em intervalos de $0,5 V$).

- d) Desenhe as curvas de calibração do transdutor de pressão para leitura nos dois reservatórios, e determine as sensibilidades em mm/V e os ajustes de zero (*offset*) em V das duas curvas. (Sugestão, utilize as funções *polyfit* e *polyval* do MATLAB)
- e) Desenhe a curva de calibração da servoválvula, e determine o ganho do atuador de acionamento ($L/min / V$) e o ajuste de zero (*offset*) em V da curva.
- f) Escreva uma função em MATLAB para converter as tensões de entrada da servoválvula e de saída do transdutor de pressão em unidades físicas de vazão e altura manométrica.
- g) Escreva uma função em MATLAB para registrar as variáveis de entrada e saída do sistema durante uma manobra. Defina parâmetros de medição para duração T da janela de observação e para o período de amostragem Δt . (Utilize a função $[d,s] = liga()$ e $desliga()$, em anexo, para ligar e desligar a placa de aquisição de dados)
- h) Realize algumas manobras no sistema hidráulico com comando manual em malha aberta para familiarizar-se com o sistema. Registre o comportamento do sistema. Utilize os seguintes comandos:
 - (a) Fechar totalmente o registro de saída do segundo reservatório e manter o registro entre reservatórios inicialmente fechado. Deixar um reservatório totalmente cheio e o outro vazio. Anote o nível dos dois reservatórios no início do ensaio. Abra totalmente o registro entre reservatórios e registrar o sinal de resposta.
 - (b) Repetir o experimento anterior agora regulado o registro entre os reservatórios para uma abertura parcial, estrangulando a passagem do escoamento.

Os comandos para acionamento da servoválvula e leitura dos sinais de resposta são os seguintes:

- abertura da servoválvula com tensão de $1,0 V$: `outputSingleScan(s,1.0)`;
- fechamento da servoválvula com tensão de $0,0 V$: `outputSingleScan(s,0.0)`;
- leitura de um valor do transdutor de pressão (nível do reservatório): `y = inputSingleScan(s)`.

2 Ensaio em um Reservatório

Primeiramente será estudado a dinâmica de um único reservatório. Para isso o reservatório 1 deverá permanecer vazio e seu registro de esfera de saída deverá estar totalmente aberto. A alimentação deverá ser feita diretamente pelo topo do reservatório 2. Comute a tubulação do transdutor de pressão para leitura no reservatório 2.

O modelo mostrado na figura 2 é composto de um reservatório de água (massa específica da água $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$) com área transversal A_2 , altura do nível de água $h_2(t)$ em relação à saída e um registro de esfera de saída com resistência (perda de carga) R_2 .

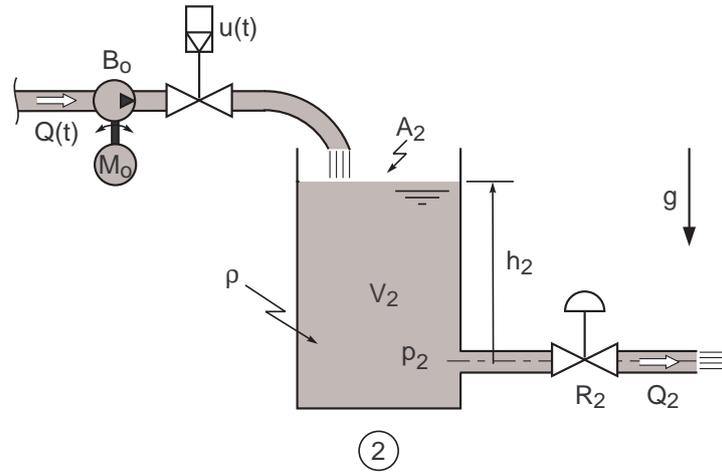


Figura 2: Sistema com um reservatório de água

O reservatório é alimentado com um vazão externa $Q(t)$ controlado por uma servoválvula com acionamento $u(t)$. O nível encontra-se inicialmente a uma altura H_2 .

O nível do reservatório pode ser obtido da equação da continuidade:

$$A_2 \frac{dh}{dt} = Q(t) - Q_2 \quad (1)$$

Perda de carga na saída é modelada pela expressão:

$$p_2 = R_2 Q_2^2 \quad (2)$$

onde p_2 é a pressão relativa à atmosférica no fundo do reservatório dada por:

$$p_2 = \rho g h_2 \quad (3)$$

onde g é a aceleração da gravidade local ($g_{SP} = 9,78 \text{ m/s}^2$).

O volume útil do reservatório é dado por:

$$V_2 = A_2 h_2 \quad (4)$$

Estudar a dinâmica do reservatório através de um modelo de simulação e através de experimentos no sistema físico disponível no laboratório.

Pede-se:

- Escrever a equação diferencial que descreve o comportamento dinâmico do sistema.
- Levantar os parâmetros físicos do sistema real.
- Identificar o parâmetro de resistência de perda de carga da válvula através de dois ensaios:
 - Ensaio em regime permanente com vazão de alimentação constante, $Q(t) = Q_0 = 24 \text{ L/min}$, e registro de esfera de saída regulado para que a altura de equilíbrio fique próxima de $H_2 \simeq 300 \text{ mm}$ ($z_2 \simeq 380 \text{ mm}$). (*Atenção: Não altere a posição do registro de esfera após esse ensaio!*)

- Ensaio de esvaziamento do reservatório sem alimentação, $Q(t) = 0$, à partir da altura de equilíbrio, $h_2(0) = H_2$.
- d) Determine a solução analítica para resposta livre e para excitação degrau à partir de uma condição inicial dada.
- e) Determine a constante de tempo τ_2 do sistema de primeira ordem.
- f) Elaborar um modelo dinâmico para simulação numérica:
- simular a resposta com uma vazão de alimentação constante e determine a altura de equilíbrio em regime permanente.
 - simular a resposta à excitação degrau (aumento de 20% na vazão) à partir da posição de equilíbrio.
 - simular a resposta à excitação por impulso (adicione 2 L de água em curto intervalo de tempo) à partir da posição de equilíbrio.
- g) Propor um controlador de nível do reservatório regulando a vazão de alimentação através da servoválvula e medido a saída com o transdutor de pressão.
- h) Ajustar os parâmetros do controlador para um regulação adequada do nível, controlado o *overshoot* e o tempo de ajuste (*settling time*) para um excitação degrau.
- i) Simule a resposta do sistema controlado a uma excitação degrau no seu modelo.
- j) Realize a função de controle no sistema físico e verifique o comportamento para uma excitação degrau. A excitação degrau pode ser realizada com uma alimentação externa do terceiro reservatório ou por uma mangueira.

3 Ensaio com dois Reservatórios

Agora será estudado a dinâmica de dois reservatório interconectados. A posição do registro de esfera intermediário, estabelecida no experimento anterior, deverá permanecer inalterada. Agora o registro de esfera de saída do segundo reservatório (*reservatório 1*) deverá ser ajustada para que esse reservatório retenha um volume de água. A alimentação permanece no topo do reservatório anterior, *reservatório 2*. Comute a tubulação do transdutor de pressão para leitura alternadamente nos dois reservatórios, *reservatório 1* e *reservatório 2*.

Para o sistema de dois reservatórios mostrado na figura 3 pede-se:

- a) Escrever as equações diferenciais que descrevem o comportamento dinâmico do sistema.
- b) Levantar os parâmetros físicos do sistema real.
- c) Identificar os parâmetros de resistência de perda de carga, R_1 e R_2 , dos dois registros de esfera através de dois ensaios.

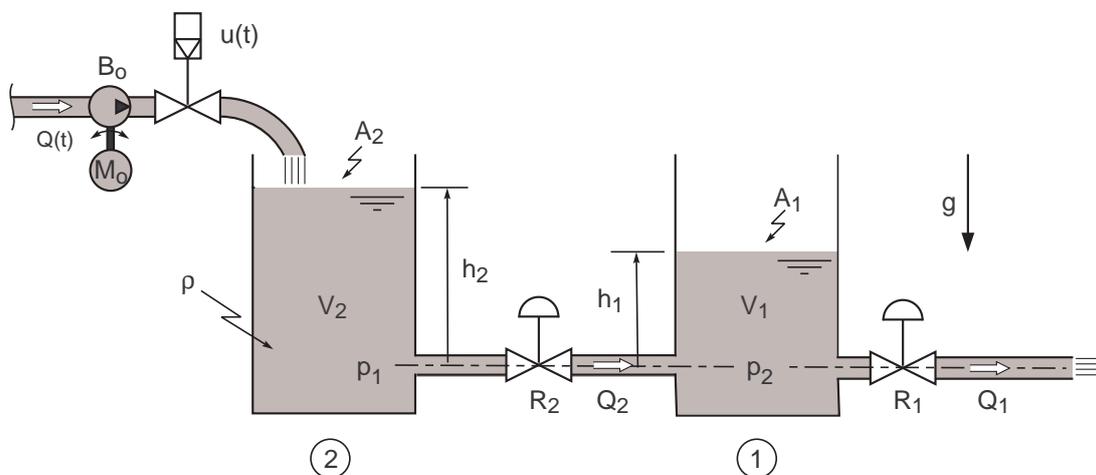


Figura 3: Sistema com dois reservatórios de água

- Ensaio em regime permanente com vazão de alimentação constante, $Q(t) = Q_0 = 24 \text{ L/min}$. Registro de esfera intermediário permanece na posição do experimento anterior e o registro de esfera de saída do *reservatório 1* regulado para que a altura de equilíbrio no *reservatório 2* fique próxima de $H_2 \simeq 300 \text{ mm}$ ($z_2 \simeq 390 \text{ mm}$). (*Atenção: Não altere mais as posições dos dois registros de esfera após esse ensaio!*)
 - Ensaio de esvaziamento dos reservatórios sem alimentação, $Q(t) = 0$, à partir das alturas de equilíbrio, $h_1(0) = H_1$ e $h_2(0) = H_2$, reguladas no ensaio anterior. Repita esse ensaio duas vezes, medindo cada vez a variação de nível do *reservatório 1* e do *reservatório 2*.
- d) Determine a solução analítica do sistema linearizado para resposta livre e para excitação degrau à partir de uma condição inicial dada.
- e) Determine as constantes de tempo τ_1 e τ_2 do sistema de segunda ordem.
- f) Elaborar um modelo dinâmico para simulação numérica:
- simular a resposta com uma vazão de alimentação constante e determine a altura de equilíbrio em regime permanente.
 - simular a resposta à excitação degrau (aumento de 20% na vazão) à partir da posição de equilíbrio.
 - simular a resposta à excitação por impulso (adicione 2 L de água em curto intervalo de tempo) à partir da posição de equilíbrio.
- g) Propor um controlador de nível do reservatório regulando a vazão de alimentação do *reservatório 2* através da servoválvula e medindo o nível do *reservatório 1* com o transdutor de pressão.
- h) Ajustar os parâmetros do controlador para um regulação adequada do nível, controlado o *overshoot* e o tempo de ajuste (*settling time*) para um excitação degrau.

- i) Simule a resposta do sistema controlado a uma excitação degrau no seu modelo.
- j) Realize a função de controle no sistema físico e verifique o comportamento para uma excitação degrau. A excitação degrau pode ser realizada com uma alimentação externa do terceiro reservatório ou por uma mangueira com vazão constante.

4 Relatório

Escreva um relatório técnico de projeto do controlador de nível de reservatório, apresentando os modelos dos sistemas, os resultados das simulações, o projeto dos controladores e os resultados experimentais.

5 ANEXOS

```
function [d,s]=liga(placa)
% [d,s] = liga(placa)
%
% Conecta e liga a placa de aquisicao de dados
% e cria dois canais analogicos,
% um de saida 'ao0' e outro de entrada 'ai0'.
%

if nargin<1,
    placa = 'Dev1';
end

d = daq.getDevices
s = daq.createSession('ni')
s.addAnalogOutputChannel(placa,'ao0','Voltage')
s.addAnalogInputChannel(placa,'ai0','Voltage')

return

function desliga()
% desliga()
%
% Desconecta a placa de aquisicao de dados

daq.reset
beep

return
```