



## 167851 - Identificação de Sistemas Dinâmicos

### Experimento 1 - Identificação de Processo Não-Linear de 4ª Ordem

#### Objetivo

Verificar através da simulação de um processo não linear, os procedimentos típicos da identificação em torno de um ponto de operação. O processo de nível de líquido não-linear, Fig. 1, disponível no LARA é modelado (Simulink) com saturação da entrada e dos níveis e fluxo turbulento. As válvulas que conectam os tanques são ajustáveis e os furos que retornam a água para o reservatório são fixos. Considera-se que a identificação seja um processo heurístico, uma “arte”, uma vez que o modelo depende de uma série de escolhas que influenciam o modelo resultante. A identificação em dois ponto de operação (linearização) deverá comparar modelos escalares típicos no domínio do tempo.

#### 1. Introdução

A identificação de sistemas dinâmicos visa obter, a partir de dados experimentais, um modelo matemático que relacione as variáveis de entrada, as perturbação e saída de um processo. A obtenção de sinais de um processo real que permitam uma boa identificação não é, em geral, um procedimento direto. A escolha adequada da taxa de amostragem, da faixa de frequências de excitação, da duração do experimento e do ponto de operação são imprescindíveis. Sinais suficientemente ricos em informações do processo permitem que algoritmos de identificação obtenham modelos que descrevem com boa aproximação o processo real. Observar que identificação em ponto de operação fornece modelos de pequenos sinais. O experimento 1 utilizará um modelo não-linear simulado, que permite a operação AFAC (simulação “As Fast As Can”).

#### 2. O Processo

O processo de nível de líquidos de 4ª ordem do LARA será considerado neste experimento como um processo SISO, com entrada de líquido no primeiro tanque e tendo por saída o nível do tanque 4,  $h_4$ , ver figura 2.

Fig. 1 – Processo de nível de líquido 4ª ordem - LARA/UnB.

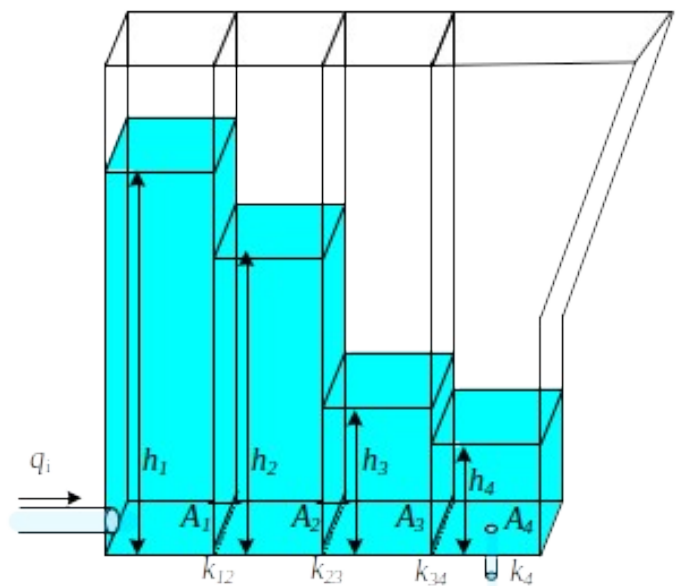


Fig. 2 – Esquema do processo de nível de líquidos de 4ª ordem.

O arquivo *liq4MA.slx* simula o processo nível de líquido de 4ª ordem, ver figura 3. Os parâmetros do processo, seção transversal dos tanques,  $A_i$ , constantes das válvulas,  $k_i$ ,  $k_{ij}$ , níveis máximo,  $h_{\max}$  e vazão máxima e mínima,  $q_{\max}$ ,  $q_{\min}$ , estão definidos em *para4nl.m*. Os índices  $i$  e  $j$ , variam de 1 a 4, conforme o caso.

### 3. Simulação em malha aberta

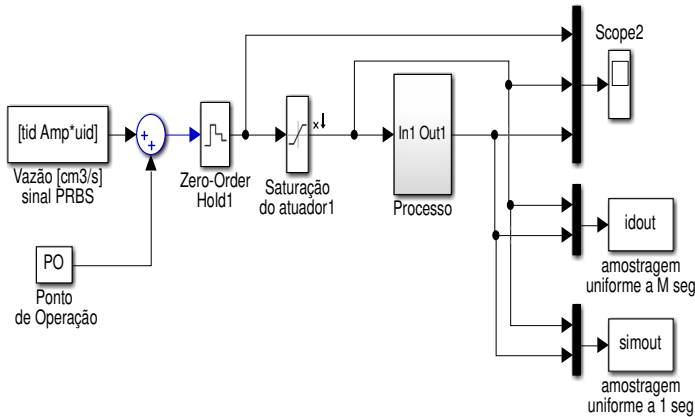


Fig. 3 – Simulação do processo de nível de líquido 4ª ordem.

O arquivo de simulação do processo em malha aberta pode ser vista nas Figuras 3 e 4.

Alguns parâmetros que afetam a identificação:

- Taxa de amostragem
- Número de amostras
- Amplitude do Sinal
- Banda do sinal PRBS
- Nível de Ruído
- Ponto de Operação

Fig. 4 – Processo de nível de líquidos de 4ª ordem.

### 4. Algumas heurísticas utilizadas em identificação.

- Taxa de amostragem,  $T_a$ : Uma onda quadrada, com período  $2 \cdot T_a$ , deve produzir variações “visíveis” na saída.
- Identificação do Ganho: As “partes lentas” do sinal PRBS devem levar o processo ao estado estacionário.
- Amplitude do sinal de excitação: A relação Sinal/Ruído e o ponto de operação limitam a amplitude de pequenos sinais.
- Pequenos sinais: Um sinal de entrada pode ser considerado de “pequeno sinal” se não houver diferença significativa entre modelos “próximos”

## 5. Procedimento

Os parâmetros do processo, para uma configuração típica das válvulas, estão disponíveis em `para4nl.m`. Adote o valor de  $k_4$  como o último número da matrícula (se “0”, adote  $k_4 = 10$ ).

- 1) Identificar em dois pontos de operação com excursão de pequenos sinais. Verifique que variações em torno do ponto de operação ( $\pm$  Amp) possam ser consideradas de pequenos sinais (modelo linear), escolha dois pontos de operação: “baixo” e “alto”. Tanto o ponto de operação “baixo” como ponto de operação o “alto” devem evitar a saturação do atuador.
- 2) Identificar com e sem ruído. A cada variável de estado do processo ( $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  e  $h_4$ ) acrescentar ruído aleatório gaussiano (média 0, variância conforme arquivo). Acrescentar também ruído de medida ao sinal de saída. Para qual *NivRuido* há prejuízo “visível para a identificação”?
- 3) Obter um sinal PRBS com uma taxa de amostragem adequada à dinâmica do processo. Utilizando a função `idinput()` projetar um sinal de entrada (*Len* amostras, Período de Amostragem *M*) que excite o processo suficientemente. O mesmo conjunto de valores (*Len*, *M*) deve ser utilizado em todos os experimentos.
- 4) Com o sinal do atuador como entrada  $q_i$  e o nível  $h_4$  como saída identifique o processo nos pontos de operação “baixo” e “alto”, com seguintes modelos:
  - a) FT, Função de transferência
  - b) ARX
  - c) ARMAX
  - d) OE
  - e) BJ
- 5) Compare os resultados com o modelo linearizado *Lin\_Analitica.m* (“Ground Truth”).
- 6) Compare a identificação da FT em Malha Aberta e Malha Fechada ( $K_p = 10$ ).

Obs1: Vários experimentos “preliminares” devem ser feitos para escolher taxa de amostragem, amplitude dos sinais, banda do sinal PRBS, ponto de operação etc.

Obs2: Todas as funções podem ser chamadas pela linha de comando, o que permite automatizar os experimentos (rodar em batch todas as simulações!): `iddata()`; `detrend()`; `tfest()`; `arx()`; `compare()` etc.

## 6. Relatório

- Descrição sucinta dos procedimentos utilizados.
- Incluir curvas que justifiquem a escolha da taxa de amostragem, do ponto de operação etc.
- A partir de qual nível o ruído de medida compromete a identificação? Justifique.
- As funções de transferência obtidas, também na forma  $zpk()$  e as constantes de tempo.
- Compare os resultados em tabelas: erro, número de parâmetros etc.
- Qual o “melhor” modelo, considerando uma predição *inf*?

**Questão:** O processo de nível de líquidos é muito lento. Como a identificação do processo real poderia ser acelerada em malha fechada? Como escolher os parâmetros desta identificação?

### Anexo - Identificação em Malha Fechada

A operação em malha fechada permite reduzir o tempo de um experimento de identificação além de simplificar a escolha do ponto de operação.

Quando o sistema não tem zeros um controlador proporcional  $K_p$  só altera dois parâmetros do modelo:

Considerando um sistema de 2ª ordem:

Malha Aberta:  $G(s) = K/(s+p_1)(s+p_2) = K/[s^2 + (p_1+p_2)s + p_1p_2]$

Malha Fechada:  $G_f(s) = K G(s)/[1 + KG(s)]$

$$G_f(s) = \frac{KK_p}{s^2 + (p_1+p_2)s + p_1p_2 + Kk_p}$$

Assim, a partir dos parâmetros identificados para  $G_f(s)$  é fácil obter o modelo  $G(s)$ . Cabe ressaltar que a condição de excitação branca (PRBS) do sinal de entrada  $u(s)$  não se aplica mais ao sinal de controle em malha fechada,  $u_f(s)$ .

$$u_f(s) = u(s)K_p/[s^2 + (p_1+p_2)s + p_1p_2 + Kk_p]$$

