



ROTEIRO DE LABORATÓRIO

1. Código da Experiência: TCF-N01
2. Título: Controle *Fuzzy* de Sistemas Dinâmicos
3. Objetivos: Esta prática tem como objetivos:

- Utilização de microcomputadores para controle inteligente de sistemas dinâmicos;
- Projeto e implementação de controladores *fuzzy*;
- Noções sobre sintonia de controladores *fuzzy*;

4. Desenvolvimento:

1º. Escolha um sistema dinâmico que possa ser controlado por computador (ou outro dispositivo programável)

2º. Projete e compare diferentes controladores *fuzzy*, tanto baseado em modelo Sugeno, quanto Mandani. Teste diferentes configurações: diferentes variáveis de entrada e saída, diferentes quantidades de funções de pertinência e outras variações possíveis. Compare os resultados e justifique.

OBS.: Dê preferência as funções de pertinência do tipo triangular, pois será mais fácil para, posteriormente, implementar técnicas de otimização numérica para sintonia dos parâmetros do controlador fuzzy.

5. Relatório:

Um relatório deve ser preparado na forma de artigo científico, utilizando modelo de qualquer revista ou evento científico (da escolha dos autores), com no mínimo 10 e no máximo 20 páginas (A4), contendo:

- Um título, claro e auto explicativo;
- Os nomes dos Autores;
- Um resumo que descreva o conteúdo do relatório;

- Introdução, onde deverá ser apresentada uma breve revisão bibliográfica sobre o assunto, a proposta do trabalho e a forma como as informações estarão organizadas dentro das seções do relatório;
- As seções seguintes podem descrever o sistema que está sendo controlado e a teoria relacionada aos controladores *fuzzy*.
- A seção de desenvolvimento (metodologia), deve detalhar o projeto desenvolvido e destacar as possibilidades investigadas justificando cada escolha;
- Na seção de resultados, devem ser apresentados textos, gráficos e/ou tabelas que demonstrem a configuração e os parâmetros do controlador projetado, bem como, os resultados obtidos e comentários que analisem e esclareçam tais resultados. Também podem ser apresentados dados (gráficos, tabelas, etc) que justifiquem as escolhas descritas na seção anterior;
- A conclusão deverá conter suas considerações a respeito da relevância do seu trabalho e da qualidade dos resultados obtidos;
- Por fim, na seção de referências, só devem ser listadas as referências utilizadas no texto.

6. Apresentação:

Com base no relatório, uma breve apresentação (para uma duração de 20 minutos, sendo 10 minutos para a apresentação de slides e 10 para demonstração) deverá ser elaborada.

Sobre o Sistema de Tanques Acoplados da Quanser Disponível no Laboratório de Controle do DCA (CTEC-217)

1. Equipamento Utilizado: São necessários para realização desta experiência:

- Um microcomputador PC com um os softwares necessários (Windows, MATLAB/SIMULINK, compilador C, QUARC);
- Uma placa de aquisição de dados Q8-USB da Quanser;
- Um módulo de potência VoltPAQ-X1;
- Um sistema de tanques acoplados da Quanser;

2. Introdução:

Antônio C. Faleiros e Takashi Yoneyama, em seu livro; Teoria Matemática de Sistemas (2002), definem *problema de controle* como sendo necessidade de se determinar uma forma de afetar um dado *sistema físico* de forma que seu comportamento atenda a um conjunto de exigência determinadas a priori, chamadas de *especificações de desempenho*. Richard C. Dorf e Robert H. Bishop, em seu livro; Sistemas de Controle Moderno (8ª Edição, 1998), afirmam ainda que: “Para compreender e controlar sistemas complexos, deve-se obter *modelos matemáticos* quantitativos destes sistemas”. Pode-se notar, a partir das declarações acima citadas, que a obtenção de modelos matemáticos (modelagem) constitui uma etapa fundamental na solução de problemas de controle.

2.1. O sistema de tanques acoplados

O sistema de tanques acoplados é um kit didático da Quanser composto basicamente por: 2 tanques, 1 reservatório e tubos flexíveis para conexão.

A bomba eleva o líquido, desde o reservatório, até 2 duas conexões hidráulicas do tipo normalmente fechadas, denominadas OUT1 e OUT2. Tubos podem ser ligados a estas conexões de forma que o líquido passe para os tanques 1 e/ou 2. O líquido que sai do tanque 1, que é o tanque mais alto, flui por gravidade para dentro do tanque 2, passando através de um orifício, cujo diâmetro pode ser variado através de uma simples troca de peças. Do tanque 2, também por gravidade, o líquido flui de volta para o reservatório, passando por um orifício com as mesmas características do orifício do tanque 1. Cada um dos tanques está dotado com um sensor de nível, que fornece um sinal elétrico em função da altura da coluna de líquido no respectivo tanque.

O sistema de tanques acoplados contém ainda conexões elétricas de entrada e saída através das quais se pode enviar os sinais dos sensores para sistemas de aquisição de dados e receber sinais de controle para o acionamento da bomba.

Dependendo do tanque onde se quer controlar o nível de líquido e da forma como se ligam as conexões OUT1 e OUT2, são possíveis três diferentes configurações:

Configuração 1	Configuração 2	Configuração 3
Apenas com o tanque 1	Com os dois tanques, mas com alimentação apenas no tanque 1. Deseja-se controlar o nível de líquido no tanque 2	Com os dois tanques. Ambos sendo alimentados. Deseja-se controlar o nível de líquido no tanque 2

2.2. Entendendo o Funcionamento do Sistema de Tanques Acoplados

A vazão fornecida pela bomba, que é acionada por um motor DC, é diretamente proporcional a tensão que alimenta este motor. Nas configurações 1 e 2, toda a vazão da bomba passa apenas para o tanque 1, sendo assim, esta vazão é chamada de vazão de entrada (F_{in}) do tanque 1. A relação entre a tensão de alimentação da bomba (V_P) e a vazão de entrada no tanque 1 é dada por:

$$F_{in} = K_m V_P \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right] \quad (1)$$

na qual: K_m é a constante da bomba.

A velocidade com que o líquido escoar pelo orifício de saída do tanque 1, é dada pela equação de Bernoulli para pequenos orifícios (*com relação ao escoamento de água*):

$$v_{out} = \sqrt{2gL_1} \left[\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right] \quad (2)$$

em que: g é a aceleração da gravidade em $[\text{cm}/\text{s}^2]$ e L_1 é o nível de água no tanque 1 em $[\text{cm}]$.

Desta forma, a vazão de saída do tanque 1 pode ser dada por:

$$F_{out} = a_1 v_{out} = a_1 \sqrt{2gL_1} \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right] \quad (3)$$

sendo: a_1 é a área do orifício de saída do tanque 1 em $[\text{cm}^2]$.

A taxa de variação do nível do tanque 1 (\dot{L}_1) é obtida dividindo-se a taxa de variação volumétrica (\dot{V}) pela área da base do tanque 1 (A_1). Sendo que a variação volumétrica no tanque 1 é dada pela diferença entre as vazões de entrada e de saída.

Considerando a configuração 2, que corresponde a um sistema SISO de segunda ordem, toda a vazão da bomba chega diretamente ao tanque 1. Por sua vez, o líquido transportado até o tanque 1 flui, sob o efeito da gravidade, pelo seu orifício de saída chegando até o tanque 2, de onde conclui-se que a vazão de entrada do tanque 2 é exatamente a vazão de saída do tanque 1:

$$F2_{in} = F1_{out} = a_1 v_{out} = a_1 \sqrt{2gL_1} \left[\text{cm}^3/\text{s} \right] \quad (4)$$

A vazão de saída do tanque 2, de forma análoga ao que foi determinado para o tanque 1, pode ser dada por:

$$F2_{out} = a_2 \sqrt{2gL_2} \left[\text{cm}^3/\text{s} \right] \quad (5)$$

em que: a_2 é a área do orifício de saída do tanque 2 em $[\text{cm}^2]$.

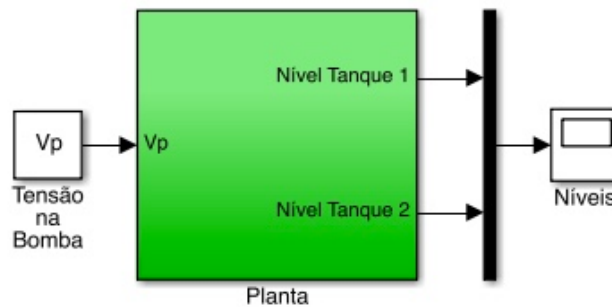
A taxa de variação do nível do tanque 2 (\dot{L}_2), assim como no caso do tanque 1, é obtida dividindo-se a taxa de variação volumétrica (\dot{V}) pela área da base do tanque (A_2).

Em malha aberta, na o sistema de tanques recebe uma tensão de entrada e fornece leitura dos níveis nos dois tanques. Inicialmente, os sinais provenientes dos sensores fornece valores de tensão, sendo possível estabelecer experimentalmente a curva que relaciona as leituras em tensão com o respectivos valores dos níveis em centímetros. A curva nominal dos sensores, considerando que os mesmos estejam devidamente aferidos, é fornecida pelo fabricante do sistema como sendo:

$$L[cm] = \alpha_1 L[v] + \alpha_2 \quad (6)$$

sendo: $\alpha_1 = 6,25 \left[\text{cm}/\text{v} \right]$ está relacionado ao ganho do sensor e $\alpha_2 = 0,00[cm]$ está relacionado ao deslocamento (*offset*) do sensor.

Sendo assim, um exemplo de esquema de simulação para o sistema em malha aberta seria:



Dentro do subsistema que representa a planta estão os blocos de utilização e configuração do sistema de aquisição de dados.

2.3. Sistema de Segurança Instrumentados ou Intertravamentos

Intertravamento é definido como sendo o conjunto de passos ou laços que devem existir para garantir a segurança de um equipamento, pessoa ou processo. Geralmente quando se utiliza uma travas lógicas (softwares de automação e controle) ou físicas (equipamentos de segurança) para garantir essa segurança.

Tais Sistemas são utilizados para monitorar a condição de certos valores e parâmetros de uma planta mantendo-os dentro dos limites operacionais e quando houver condições de riscos devem gerar alarmes e, se possível, colocar, automaticamente, a planta em uma condição segura ou mesmo realizar um desligamento de segurança (shutdown). O objetivo principal é se evitar acidentes, danos aos equipamentos, proteção da produção e da propriedade e mais do que isto, evitar riscos de vida ou danos à saúde pessoal. Deve-se ter de forma clara que nenhum sistema é totalmente imune a falhas e sempre deve proporcionar mesmo em caso de falha, uma condição segura.

Um sistema que garanta a operação segura do sistema de tanques acoplados deve levar em consideração, pelo menos, as seguintes regras:

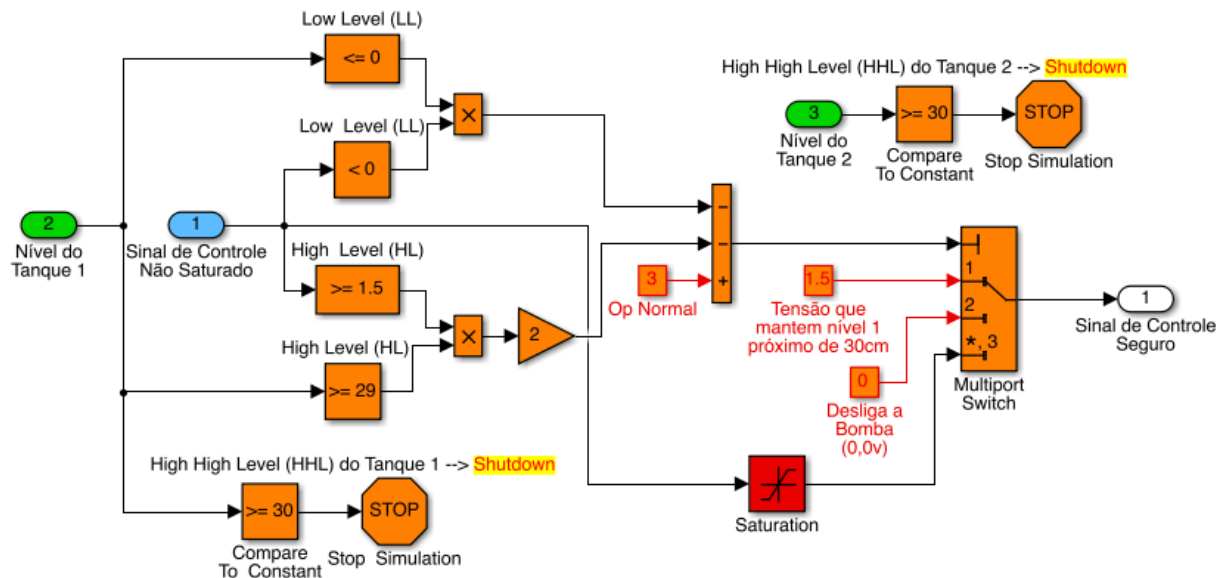
- Não deve ser enviada para o sistema uma tensão fora dos limites de ± 4 volts;
- A bomba não pode tentar sorver água (receber uma tensão negativa) quando o nível de líquido no tanque 1 estiver muito baixo (próximo de 0,00 cm ou abaixo da ponta da mangueira de alimentação);
- Nenhum dos dois tanques pode transbordar.

Obs.1: Em operação normal, com orifício médio na saída de ambos os tanques, o tanque 2 não transborda se o tanque 1 não encher além dos 30cm.

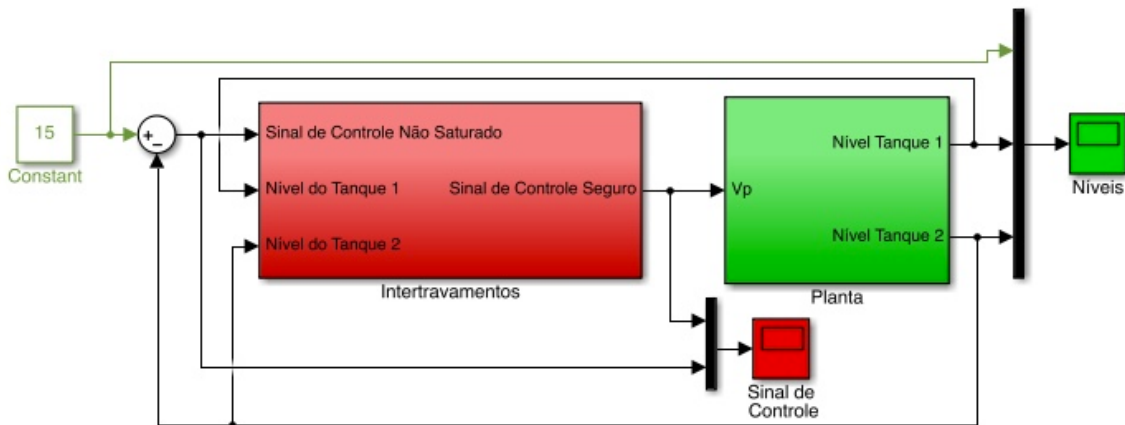
Obs.2: Existe um valor específico de tensão que mantém, em regime, o nível do tanque 1 em cada valor de altura desejado.

Obs.3: O desligamento de segurança (shutdown) só deve ocorrer quando detectado uma condição anormal de operação.

Uma possível lógica de intertravamentos pode ser vista no diagrama de blocos da seguinte figura:



Sendo assim, um exemplo de esquema de simulação para o sistema em malha fechada, com o bloco de intertravamentos, seria:



Sendo que, pela ausência de um controlador o próprio erro de rastreamento desempenharia o papel de sinal de controle.

2.4. Controladores Baseados em Lógica Fuzzy

A lógica nebulosa (*fuzzy logic*, ou simplesmente lógica *fuzzu*) permite o tratamento de expressões que envolvem grandezas descritas de forma não exata. Ela busca lidar, de maneira simultânea, com as principais imperfeições da informação: Imprecisão e Incerteza. Tratando expressões que envolvam variáveis linguísticas, busca manusear informações fornecidas por seres humanos.

A lógica *fuzzy* baseia-se na Teoria dos Conjuntos Nebulosos e na Teoria das Possibilidades. Ambas apresentadas por Lotfi Zadeh (1965 e 1978) como alternativas no tratamento de problemas onde a teoria clássica de conjuntos e a teoria das probabilidades não forneciam bons resultados. A teoria de conjuntos nebulosos busca, portanto, traduzir em termos formais a informação imprecisa que ocorre de maneira

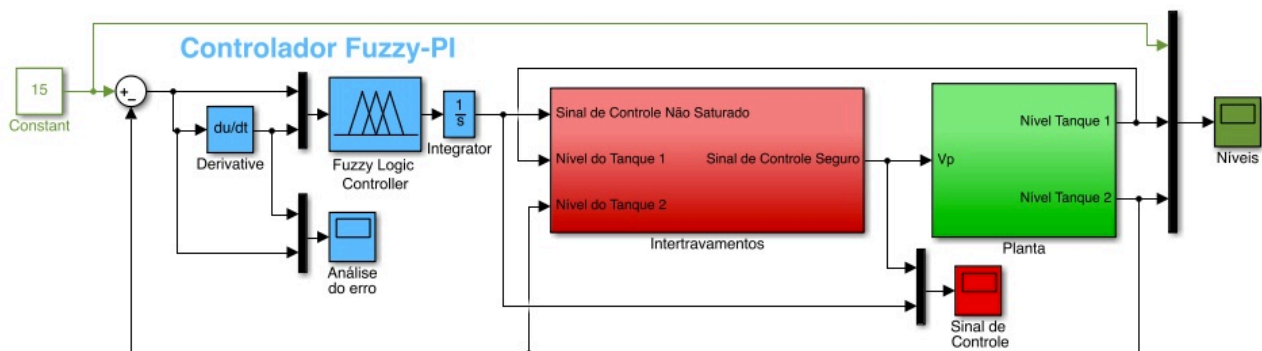
espontânea na representação dos fenômenos da natureza, como descrito por humanos utilizando uma linguagem corriqueira.

A ideia básica dos controle baseado em lógica *fuzzy* é modelar o conhecimento de um especialista, sem a necessidade de modelar o processo em si. Esse conhecimento é passado para o controlador na forma de regras do tipo:

IF <conjunto de condições> **THEN** <Ação(ões) de Controle>

Um dos principais benefícios desse tipo de lógica é a não necessidade de conhecer o modelo matemático da planta. Por essa razão, esses controladores podem ser bastante atrativos em situações nas quais o sistema em que se deseja controlar seja não linear e quando informações do sistema contenham incertas, ou mesmo sejam parcialmente desconhecidas.

Os modelos *fuzzy* mais utilizados são: Mamdani (no caso dos modelos clássicos) e Sugeno (no caso dos modelos de interpolação). A escolha por um, ou outro modelo, implica na necessidade de escolha de um conjunto de outros parâmetros de projeto, como: operadores, tipo de funções de pertinência, variáveis de entrada e variáveis de saída, dentre outros. Em função da escolha das variáveis de entrada e saída, é possível projetar controladores *fuzzy* que estabelecem certa analogia com os controladores clássicos da família PID. Um possível exemplo seria projetar um controlador Fuzzy-PI.



Se o controlador *fuzzy* tem como variáveis de entrada o erro e a variação do erro e sua variável de saída é a variação do sinal de controle é possível dizer que tal controlador *fuzzy* é análogo a um controlador clássico do tipo PI.