



SUPERVISÓRIO E SISTEMA ESPECIALISTA DE UM PROCESSO DE QUATRO TANQUES

José Alberto Naves Cocota Júnior – cocota@em.ufop.br
Ludmila Paola Pereira Iwasaki – ludmilavpl@hotmail.com
Pedro Henrique Lopes Faria – lopesfaria@hotmail.com
Dep. de Engenharia de Controle e Automação (DECAT)
Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto
35400-000 – Ouro Preto – Minas Gerais

Resumo: Esse trabalho relata a experiência de desenvolvimento de um supervisório/sistema especialista, que tem como objetivo auxiliar os discentes em aulas práticas de controle nas atividades relacionadas à identificação dos parâmetros de um processo de quatro tanques acoplados, através da ferramenta GUIDE do programa MATLAB®.

Palavras-chave: SCADA, supervisório, sistema especialista, MATLAB, GUIDE.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Johansson (2000), tem-se observado o aumento do interesse da indústria na utilização de técnicas de controle multivariável. A motivação para este tipo de pesquisa é a riqueza de material teórico desenvolvido e a importância de se considerar o efeito de não-linearidades e acoplamentos para o controle apropriado de muitos sistemas de interesse prático inerentemente multivariáveis ou cujas características não-lineares são significativas. Muitas vezes é difícil afirmar quando estratégias de controle mais complexas são necessárias para um melhor desempenho na prática, e quando estratégias simples são suficientes. É importante, portanto, explorar métodos de controle de sistemas multivariáveis, por exemplo, em cursos de engenharia de controle e automação. Nesse sentido, esforços para o desenvolvimento em laboratório de processos multivariáveis têm sido relatados na literatura.

Com o intuito de se obter melhor desempenho e resultado no controle de processos, os sistemas de automação industrial vêm utilizando, cada vez mais, tecnologias de computação e comunicação para automatizar o monitoramento e o controle dos processos. Uns dos artifícios comumente utilizados são os sistemas supervisórios e sistemas especialistas, que efetuam coletas de dados em ambientes complexos, algumas vezes tratam esses dados, e apresentam os resultados ao operador de forma compreensível, realizando assim o papel de uma interface homem-máquina.

Os supervisórios são sistemas de supervisão e aquisição de dados, conforme citado por Lopes (2009). Permitem que sejam monitoradas e rastreadas informações de um processo produtivo ou instalação física. Tais informações são coletadas através de equipamentos de

aquisição de dados e, em seguida, manipuladas, analisadas, armazenadas e posteriormente, apresentadas ao usuário. Estes sistemas também são chamados de SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*).

Os sistemas especialistas solucionam problemas que normalmente são resolvidos por especialistas humanos que detenham grande conhecimento no assunto, como descrito por Lessa *et al.* (2010). Logo, esses programas solucionam problema em campos específicos e devem ter um desempenho comparado ao dos especialistas humanos. Além disso, para o desenvolvimento desse sistema é necessário que o profissional da área a ser tratada faça um acompanhamento, para que as informações necessárias ao sistema sejam passadas ao profissional que irá desenvolvê-lo.

Neste trabalho foi desenvolvido um *software* que é um supervisor e um sistema especialista, com o objetivo de auxiliar os discentes nas atividades relacionadas à identificação dos parâmetros do processo de quatro tanques, para que essas informações auxiliares sejam utilizadas na modelagem do sistema pelo método de caixa cinza (Aguirre, 2000).

2. DESCRIÇÃO DA PLANTA

A planta é formada por quatro tanques cilíndricos e um reservatório. O reservatório tem por finalidade armazenar toda a água do processo, que é enviada para os demais tanques. De acordo com a configuração efetuada, é possível realizar experimentos de controle SISO (*Single Input, Single Output*) ou MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*). Ainda, quatro sensores de pressão diferencial fazem a leitura dos níveis dos tanques, tal que o sinal é amplificado para a escala de 0 a 10 Vcc e transmitido por um condicionador de sinais.

Além disso, duas bombas são utilizadas para o controle do fluxo de água enviado para os tanques. O controlador lógico programável (PLC) VersaMax[®] da GE Fanuc é responsável pelo envio dos sinais de controle para a planta. Esses sinais são amostrados por um módulo de potência, que aciona as bombas através de um sinal modulado por largura de pulsos (PWM). A Figura 1 ilustra o sistema de quatro tanques acoplados.

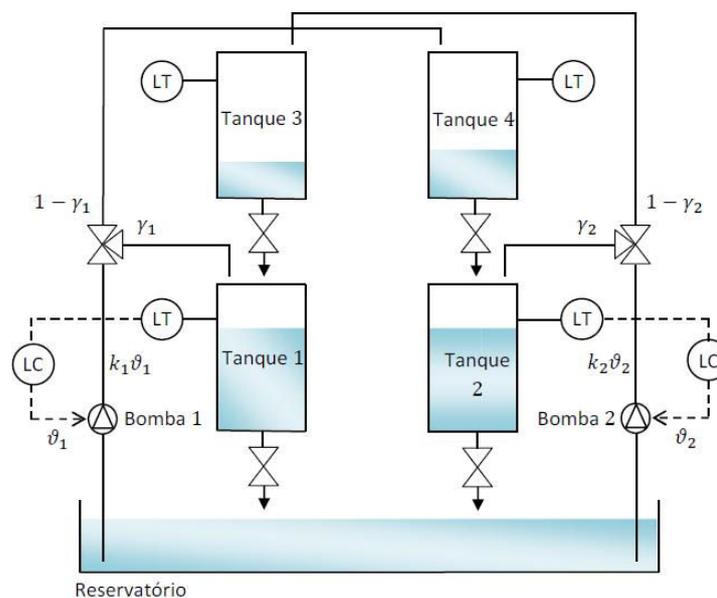


Figura 1 - Desenho esquemático do sistema de quatro tanques

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Metodologia

A programação do sistema supervisor e especialista foi desenvolvida com base em apostilas de MATLAB® e GUIDE; em fóruns da Internet, principalmente os da própria MathWorks e Stack Overflow; e na ferramenta "help", do próprio MATLAB®.

Primeiramente, o sistema supervisor foi desenvolvido, em seguida o sistema especialista, no MATLAB®. O supervisor não possibilita a inserção ou modificação de variáveis na programação do PLC, ou seja, é apenas um monitoramento do processo. O sistema especialista, por sua vez, além de realizar a aquisição de dados, possibilita a atualização de algumas variáveis do programa em LADDER do PLC, e.g., as tensões a serem aplicadas nas bombas durante os ensaios para a identificação dos parâmetros do processo.

Após o desenvolvimento de ambos, uma interface inicial (Figura 2) foi elaborada, permitindo ao usuário optar pelo supervisor ou pelo sistema especialista para a identificação dos parâmetros.

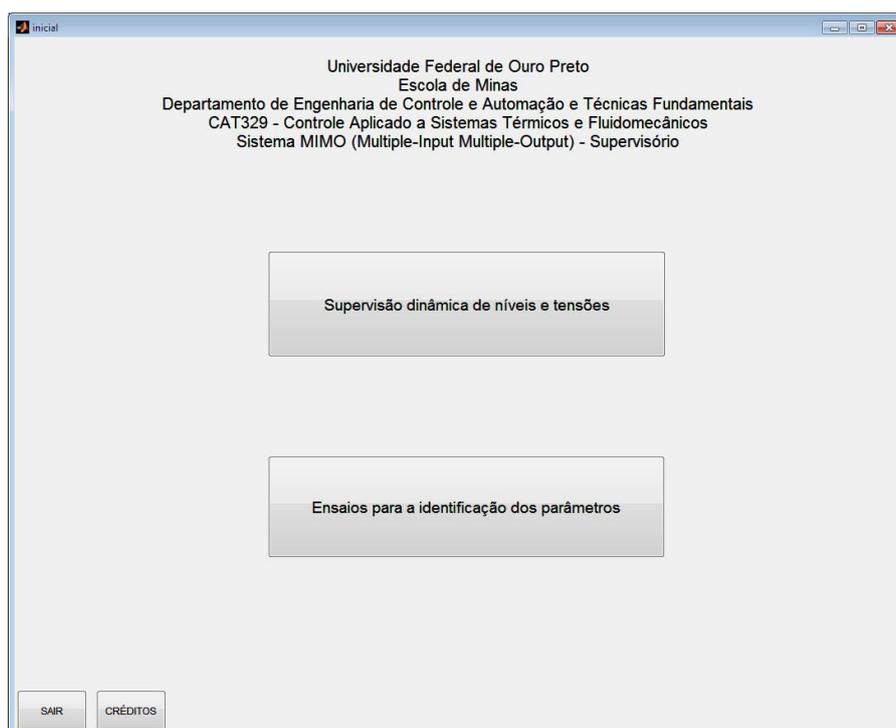


Figura 2 - Interface inicial

3.2. Sistema supervisor

O sistema supervisor proporciona o monitoramento em tempo real dos níveis dos quatro tanques e das tensões das bombas. A Figura 3 ilustra a tela do supervisor.

Na tela, à esquerda, do supervisor estão os parâmetros dos quatro tanques. Os valores foram inseridos manualmente no script do MATLAB®.

Na implementação do supervisor, observou-se um problema a ser solucionado: o comando *plot* do MATLAB® apresentou um conflito entre as *figures* do *software*. Uma *figure* é uma função onde se criam interfaces gráficas, bem como as utilizadas pelo GUIDE. Quando se fechava a janela onde se encontravam os gráficos (ver Figura 3), voltando assim à tela inicial, por vezes os gráficos continuavam sendo desenhados na tela, o que não era desejado.

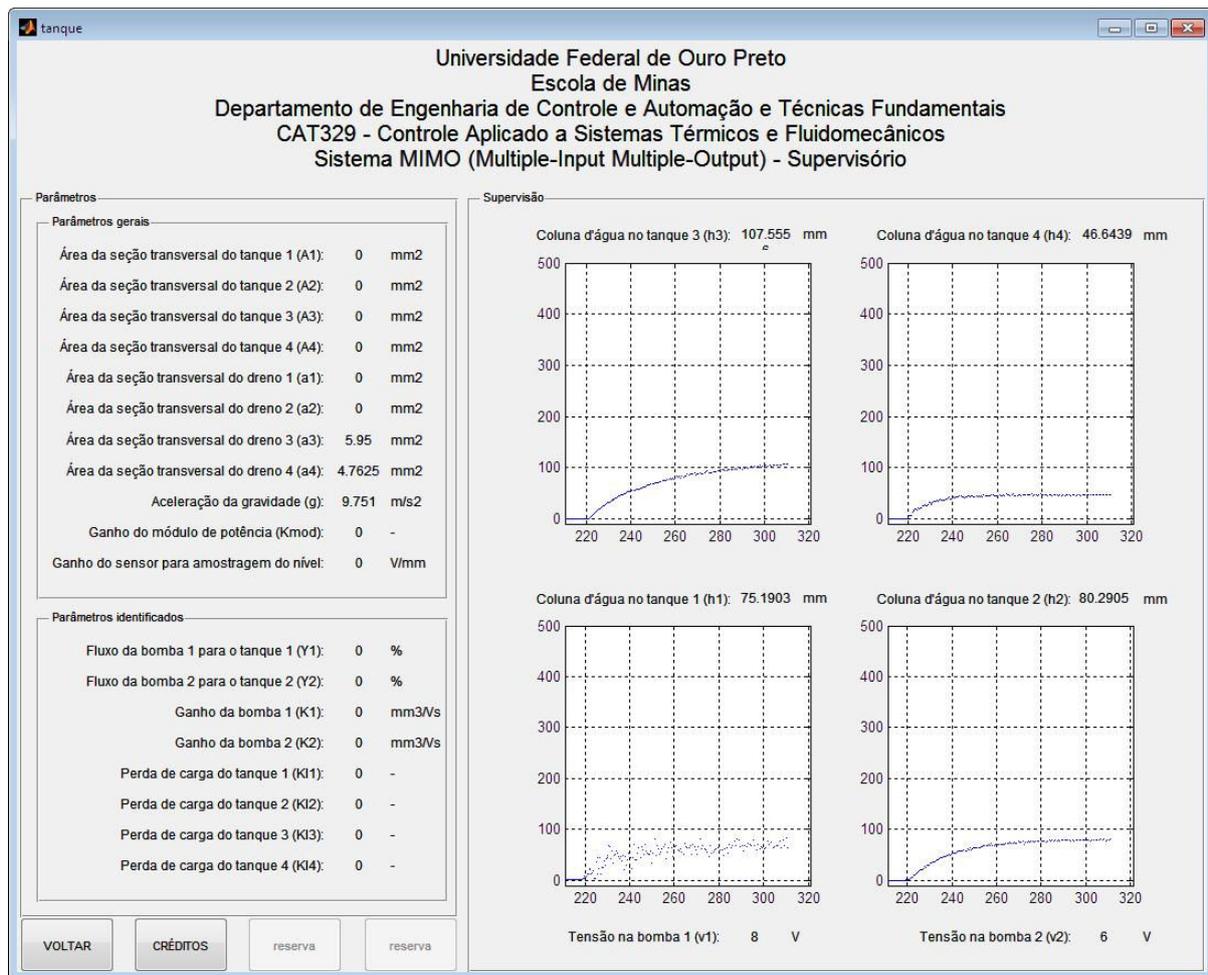


Figura 3 - Tela do supervisorio

3.3. Sistema especialista

O sistema especialista foi desenvolvido para orientar o usuário durante o processo de realização de ensaios para a identificação dos parâmetros. Para tanto, deve induzir o usuário a uma seqüência de atividades que um profissional especialista faria para atingir o objetivo proposto.

O sistema especialista opera em conjunto com: o supervisorio criado em ambiente MATLAB®, a simulação do modelo através do SIMULINK®, e a programação LADDER embarcada no PLC.

A tela principal do sistema especialista (Figura 4) é acessada a partir do botão "Ensaio para a identificação dos parâmetros" da tela inicial.

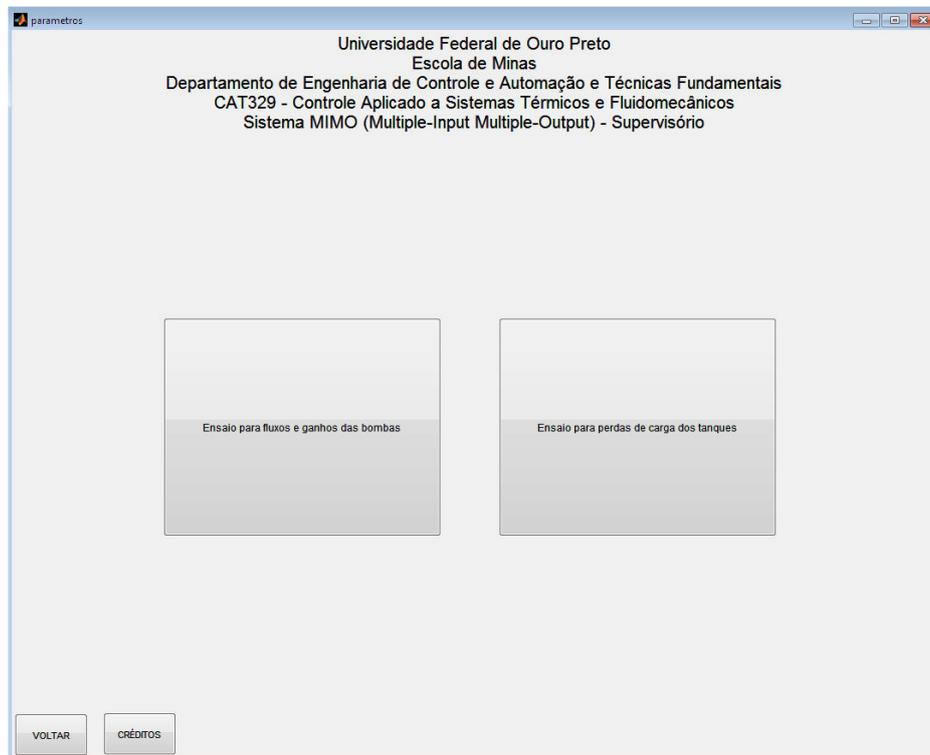


Figura 4 - Tela principal do sistema especialista

Os botões da tela principal do sistema especialista são auto-explicativos: o botão à esquerda leva ao ensaio necessário para a identificação dos parâmetros γ_1 , γ_2 , k_1 e k_2 , enquanto que o botão à direita possibilita a obtenção de k_{11} , k_{12} , k_{13} e k_{14} .

Ensaio A: o ensaio para a obtenção de γ_i 's e k_i 's

Na parte superior da tela, há uma descrição sobre quais parâmetros serão adquiridos nesse ensaio. À esquerda, há as instruções para se fazer o ensaio corretamente. A tela para este ensaio é observada na Figura 5.

ensaio01

UFOP - EM - DECAT
CAT329 - Sistema MIMO - Supervisório
Ensaio para fluxos e ganhos das bombas

Descrição

Ensaio para a identificação dos seguintes parâmetros:
 >>> Parcela de fluxo d'água que vai da bomba 1 para o tanque 1 (Y1);
 >>> Parcela de fluxo d'água que vai da bomba 2 para o tanque 2 (Y2);
 >>> Ganho da bomba 1 (K1);
 >>> Ganho da bomba 2 (K2).

Instruções

Leia **TODAS** as instruções antes fazer qualquer outra ação;
 1) Faça o download do arquivo tanque Cimplicity-MIMO-grupo3 para o PLC;
 2) Abra o arquivo KEPServer-MIMO-grupo3 no KEPServer e clique em "Quick Client" (ícone superior direito da barra de tarefas);
 3) Aplique tensões nas bombas que mantenham medianos os níveis dos tanques. Esses níveis serão seu ponto de operação;
 4) Tampe os orifícios dos drenos;
 5) Insira os valores das tensões das bombas (do item 3) no quadro "Inserção de Dados", ao lado;
 6) Clique em INÍCIO e a água será bombeada aos tanques;
 7) Clique em FIM quando os níveis estiverem satisfatórios. **NÃO DEIXE A ÁGUA TRANSBORDAR!**
 8) Em XX segundos, um gráfico aparecerá na tela e os dados serão salvos no arquivo ensaio01.mat.
 OBS.: NÃO DEIXE QUE ALGUM TANQUE TRANSBORDE, para que não haja danos aos dispositivos.

Inserção de Dados

Tensão da bomba 1 (v1):
 V

Tensão da bomba 2 (v2):
 V

INÍCIO FIM

TESTE

VOLTAR FECHAR

Figura 5 - Tela para ensaio A

Nas duas primeiras instruções são citados os arquivos: "Cimplicity-MIMO-grupo3.zip" e o "KEPServer-MIMO-grupo3.opf". O primeiro é a programação em LADDER que deve ser embarcada no PLC, e a segunda é a configuração do protocolo OPC, que realiza a comunicação entre o PLC e o MATLAB[®].

Para realizar o ensaio, devem-se aplicar as tensões das bombas, para que se mantenham os níveis de água dos tanques em alturas desejadas com o sistema em malha aberta, sendo essas alturas as dos pontos de operação do sistema. Para isso, inserem-se os valores dessas tensões nos campos específicos da tela, clicando em "TESTE" em seguida. Os tanques começam a encher e os níveis da água nos tanques entram em regime permanente. Caso não sejam satisfatórios, escolhem-se novas tensões das bombas, repetindo-se a operação. Após ser atingido o regime permanente satisfatório, clica-se em "FIM".

Após o esvaziamento dos tanques, vedam-se os orifícios dos drenos dos tanques. Inserem-se os valores das tensões para o regime permanente, clica-se em "INÍCIO", e em "FIM" quando os níveis estiverem satisfatórios. Após um tempo pré-determinado na programação do MATLAB[®], o gráfico da altura da coluna de água dos tanques em função do tempo é desenhado, e os dados do ensaio são gravados no arquivo "ensaio01.mat", para que possam ser posteriormente acessados pelo usuário. A Fig. 6 ilustra os gráficos obtidos através deste ensaio.

Uma vez finalizado o ensaio de carga de água, os discentes calculam os parâmetros dos ganhos das bombas e as parcelas de água dessas para os tanques inferiores, com base nos resultados experimentais. Como as seções transversais dos tanques são iguais, a parcela γ_1 é obtida pela razão do nível do tanque 1, ao final do processo de carga, em relação ao somatório dos níveis dos tanques 1 e 4. De forma análoga o parâmetro γ_2 é encontrado a partir dos níveis dos tanques 2 e 3. Assim, o ganho da bomba k_i é obtido dividindo o valor da vazão da bomba pela tensão média que foi aplicada nela durante o ensaio de carga de água.

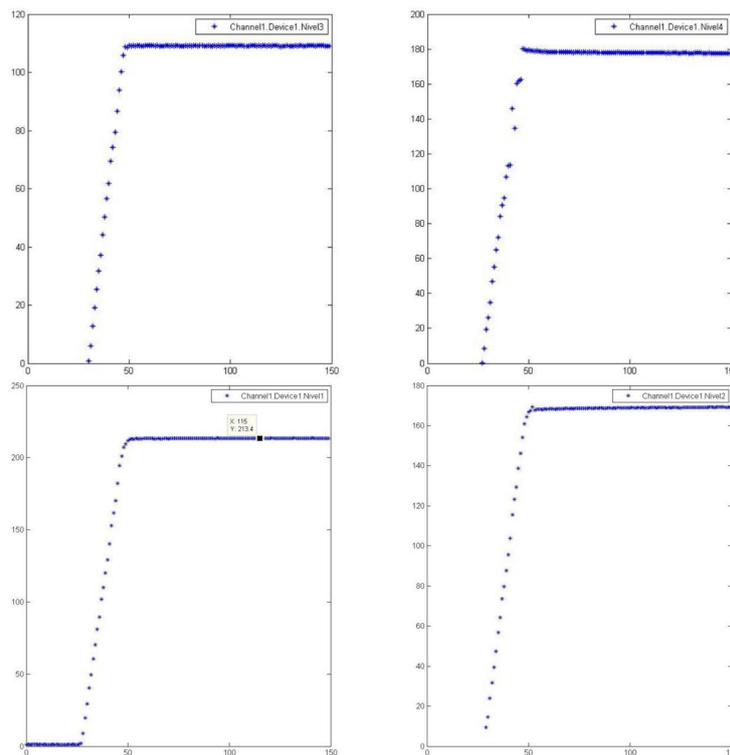


Figura 6 - Tela com resultados do ensaio A

Ensaio B: o ensaio para a obtenção de kl_j 's

A Figura 7 ilustra a interface com o usuário para a realização do ensaio para a obtenção das perdas de cargas. O leiaute da tela é semelhante ao da descrita no ensaio anterior.



Figura 7 - Tela ensaio B

Para esse ensaio é necessário que os drenos sejam desobstruídos. Logo, os valores das tensões do ponto de operação escolhidos no ensaio anterior são inseridos nos campos correspondentes; apenas esses campos estarão habilitados a receber valores.

Clica-se em “INÍCIO” e água começa a ser bombeada aos tanques. Após certo tempo, definido na programação do MATLAB® para que os níveis dos tanques entrem em regime permanente, um gráfico com a altura dos níveis nos tanques em função do tempo é plotado, apenas para mostrar ao usuário que os dados foram adquiridos com sucesso. A Figura 8 ilustra esse passo. O botão “PARAR”, permite que o experimento real seja interrompido a qualquer momento.

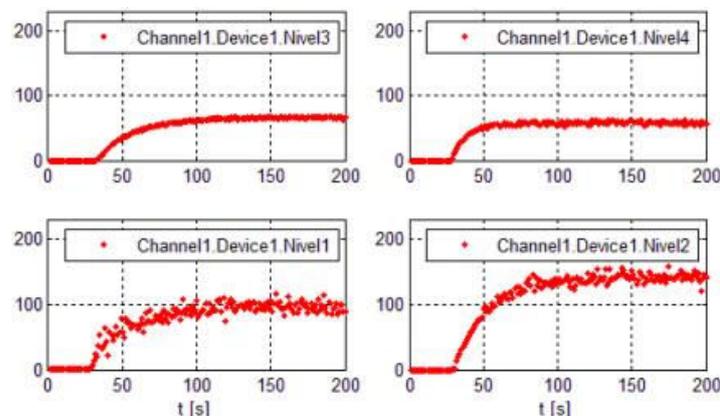


Figura 8 – Aquisição de dados ensaio B

Após a exibição do gráfico, os campos de γ_1 , γ_2 , k_1 e k_2 são habilitados para inserção de dados, como mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Tela do ensaio B após aquisição de dados

Nesses campos são inseridos os valores dos parâmetros identificados no ensaio anterior. Clica-se, então, no botão "REAL X SIM", e os gráficos dos resultados experimentais e da simulação do modelo do processo são plotados, finalizando o segundo passo, como mostra a Figura 10.

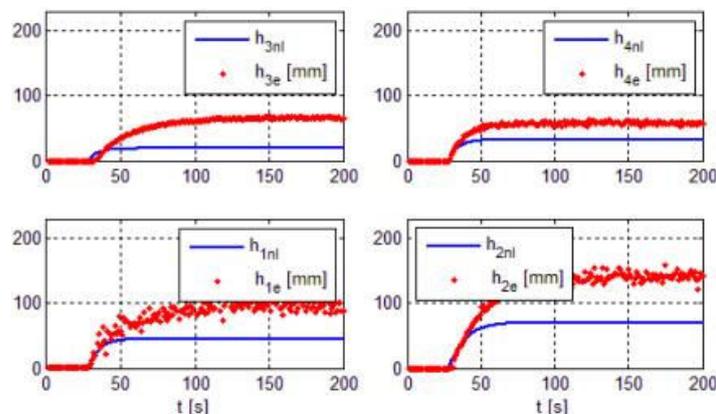


Figura 10 - Dados experimentais e de simulação sem a constante de perda de carga

Após a execução dos passos citados, os campos para inserção dos k_{ij} 's são habilitados. O usuário deve estimar os valores para k_{11} , k_{12} , k_{13} e k_{14} e clicar novamente em "REAL X SIM", obtendo novos gráficos. Esse passo deve ser repetido até que se tenham os gráficos da simulação ajustados aos do experimento real. A Fig. 11 ilustra a tela com os k_{ij} 's habilitados. A Figura 12 ilustra os resultados da simulação com os parâmetros ajustado de maneira que apresenta comportamento semelhante ao do processo real.

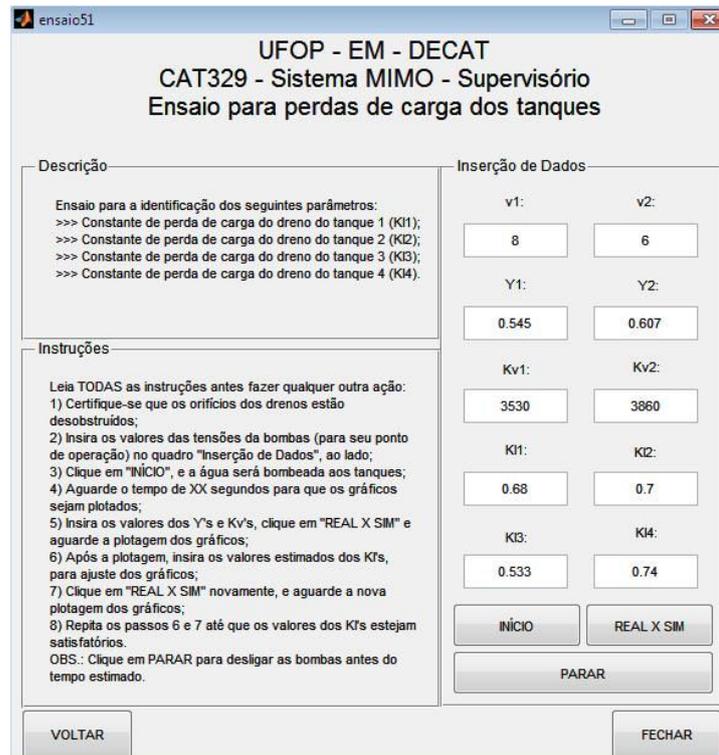


Figura 11 - Ensaio B após completa inserção de parâmetros

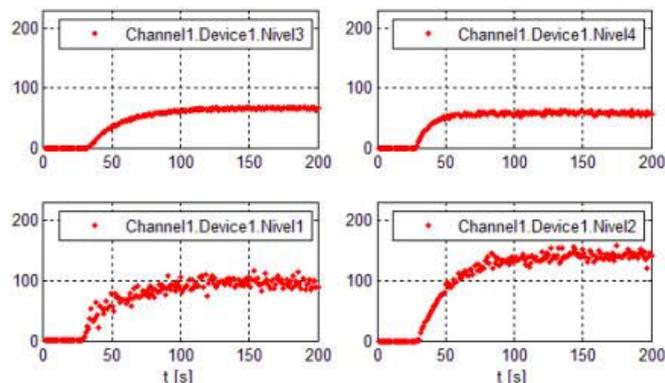


Figura 12 - Dados experimentais e de simulação com a constante de perda de carga



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema desenvolvido neste trabalho para o processo de quatro tanques atendeu os objetivos propostos. Além disso, se mostrou como uma poderosa ferramenta no aprendizado da disciplina para o qual foi desenvolvido, pois permite uma aquisição de dados facilitada.

Entretanto, é necessário se observar que a utilização do MATLAB[®] como um desenvolvedor de supervisórios está longe de ser simples e objetiva. Ao contrário: é complexa e dispendiosa, não sendo aconselhada para casos em que seja necessário um supervisório comum, cujas funções sejam somente leitura e escrita de variáveis no processo. O MATLAB[®] foi aqui usado principalmente por sua capacidade de simular o modelo do sistema em questão e possibilitar a comparação com os resultados experimentais em um mesmo ambiente de desenvolvimento.

Algumas sugestões para trabalhos futuros: possibilitar ao usuário a inserção dos parâmetros gerais do processo, sem a necessidade do usuário alterar manualmente o *script* no MATLAB[®]; incluir um campo no supervisório que possibilite ao usuário alterar os valores dos parâmetros do controlador clássico; e corrigir o problema observado com os gráficos dinâmicos do sistema supervisório.

Agradecimentos

Agradecemos aos colegas Lucas Machado Viana e Leonardo Vidigal Meireles pelo apoio na elaboração da programação do PLC e por terem desenvolvido o papel de especialista do processo, bem como à Fundação Gorceix que apoiou este projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, Luis Antonio. Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais. 1^a ed. Belo Horizonte. Editora da UFMG, 2000.

JOHANSSON, K. H. The Quadruple-Tank Process: A Multivariable Laboratory Process with an Adjustable Zero. IEEE Trans. on Control Systems Technology 8(3), 456–465, 2000.

LESSA, G. O.; RIBEIRO, V. G.; SILVEIRA, S. R. Intelivet: Sistema Especialista para Auxílio no Diagnóstico Diferencial de Doenças em Animais de Pequeno Porte. Revista INESC, v.1, n.1, pp 63-81, 2010.

LOPES, Marco. UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO. A Importância dos Sistemas Supervisórios no Controle de Processos Industriais, 2009. 39p, il. Monografia de Graduação.



SUPERVISORY AND WIZARD SYSTEM FOR A FOUR TANKS PROCESS

***Abstract**— This paper reports the experience of developing a supervising/wizard system that aims in assisting students of control practice classes in the activities that are related to the parameters identification of a four coupled tanks process, by the GUIDE tool of MATLAB[®] software.*

***Key-words:** SCADA, supervisory, wizard, MATLAB, GUIDE.*