



COBENGE 2005

XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia

"Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças"

12 a 15 de setembro - Campina Grande Pb

Promoção/Organização: ABENGE/UFCEG-UFPE

EXPERIMENTO DE CONTROLE DE NÍVEL REALIZADO REMOTAMENTE VIA INTERNET: PROJETO "WEB-LAB"

Antonio José Gonçalves Cruz – ajgcruz@power.ufscar.br

Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Departamento de Engenharia Química
Via Washington Luis, km 235, CP 676
CEP 13565-905, São Carlos – SP

Charles Dayan Farias de Jesus – charles@power.ufscar.br

Roberto de Campos Giordano – roberto@power.ufscar.br

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Química
Av. Prof. Luciano Gualberto, 380, travessa 3
CEP 05508-900, São Paulo – SP

Claudio Augusto Oller do Nascimento – oller@usp.br

Gallo Antonio Carrillo Le Roux – galoroux@usp.br

Luis Valcov Loureiro – valcov@usp.br

***Resumo:** Este trabalho descreve a utilização de experimento didático de controle de nível operado remotamente via Internet. O experimento encontra-se fisicamente implementado no WebLab (laboratório de acesso remoto) do projeto piloto do laboratório didático de Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola Politécnica da USP – EPUSP (<http://weblab.pqi.ep.usp.br>). O experimento foi realizado por um grupo de alunos do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos. Motivados pela realização do experimento, os alunos propuseram e desenvolveram um simulador (programado em linguagem visual) do experimento realizado. O simulador poderá ser eventualmente utilizado antes do acesso ao experimento remoto, facilitando o entendimento e a posterior realização do mesmo. Este trabalho faz uma breve descrição do experimento de controle de nível e sua operação. Também apresenta o equacionamento utilizado no desenvolvimento do simulador e apresenta considerações a respeito desta experiência didática inovadora.*

Palavras-chaves: Ensino a distância, Internet, Experimento didático, acesso remoto, WebLab.

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente a maneira clássica utilizada na formação profissional dos engenheiros é através de aulas teóricas complementadas por experimentos didáticos que possibilitam “visualizar” na prática os conceitos apresentados. Os experimentos são realizados

presencialmente em laboratórios didáticos por grupos de alunos que operam determinado experimento com acompanhamento do professor.

O desenvolvimento acelerado da informática nas últimas décadas, acompanhado da redução de custos tanto de *hardware* quanto de *software*, tem revolucionado a prática e o ensino da engenharia. O uso de computadores na solução de problema de engenharia tornou-se prática comum a partir da década de noventa. Projetos de engenharia são feitos com mais eficiência e rapidez, e através de métodos mais robustos e modelos mais realistas, do que era possível há algumas décadas atrás. O advento da rede mundial de computadores (World Wide Web, WWW) associado ao desenvolvimento de tecnologias inovadoras vem permitindo que novas metodologias de ensino possam ser exploradas. Neste contexto, muitas instituições educacionais estão engajadas no desenvolvimento de estratégias e estruturas para implementar e utilizar o aprendizado eletrônico (*e-learning*) como uma abordagem complementar aos tradicionais métodos de treinamento e educação. Uma das primeiras instituições a investir neste campo foi o Massachusetts Institute of Technology (MIT) através de projetos como OpenCourseWare e mais recentemente MIT ICampus (<http://icampus.mit.edu>). Mais especificamente na área da Engenharia Química, encontra-se disponível experimento para operação de trocador de calor a placas no MIT (<http://heatex.mit.edu>).

Atentos para os avanços da ciência e da tecnologia, um grupo de professores do curso de Engenharia Química da Escola Politécnica de São Paulo elaborou e implantou projeto denominado “WebLab de Controle de Nível”. Trata-se da operação remota em tempo real de experimento didático de controle de nível para ser ministrado na disciplina de “Controle de Processos da Indústria Química I” abordando os principais conceitos envolvidos no processo. A meta básica do projeto é permitir aos alunos de graduação uma boa noção a respeito do conceito de controle de processos de uma maneira prática e interativa. Transpondo a necessidade presencial no laboratório, o projeto também disponibiliza essa ferramenta de estudo para limites fora da instituição de ensino (via WWW), permitindo o acesso ao experimento de qualquer computador ligado à rede. Este formato de aprendizado é flexível bastante para se adaptar aos três formatos de aprendizado citados por Shin et al. (2002), a saber: estudo direto (aprendizado assíncrono), estudo conduzido por instrutor (aprendizado síncrono presencial) e colaboração entre grupos.

Este trabalho faz uma breve descrição do projeto WebLab e relata a experiência realizada por um grupo de alunos do curso de Engenharia Química da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) na operação remota do experimento de controle de nível localizado no laboratório didático de Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola

Politécnica da USP – EPUSP (<http://weblab.pqi.ep.usp.br>). Aspectos relacionados à motivação, dificuldades, e outras considerações colocadas pelos alunos são abordados neste trabalho.

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO WebLab

O projeto WebLab de Controle de Nível possui basicamente duas estruturas bem distintas, mas ao mesmo tempo bastante inter-relacionadas. Uma delas é a planta física, composta por um Controlador Lógico Programável (CLP), um tanque de vidro, medidores de vazão e nível, bombas, compressores, válvulas de controle, dispositivos elétricos de comando, etc. A outra estrutura é a parte “virtual” correspondente às programações e configurações do CLP, do programa supervisor de processo, da câmera digital (webcam) e do servidor para a Internet. A interconexão destas duas estruturas pode ser observada na Figura 2.1.

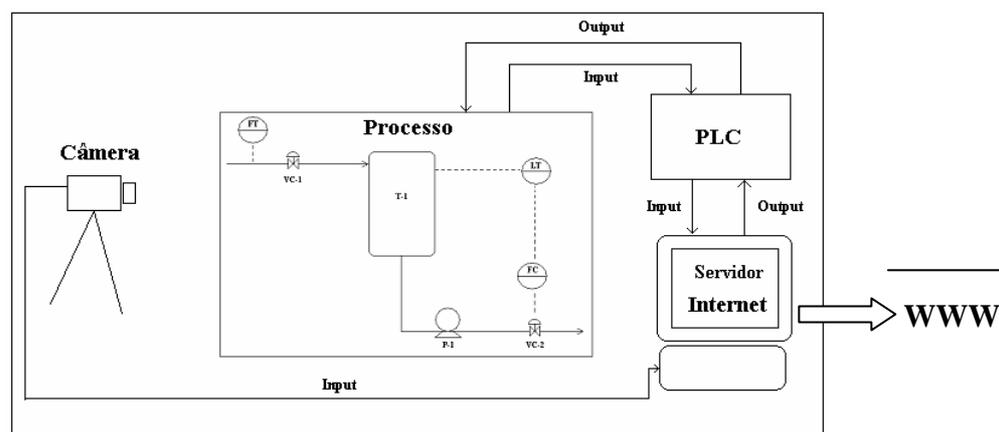


Figura 2.1: Diagrama esquemático ilustrando a interconexão entre as duas estruturas envolvidas no projeto WebLab (estrutura física e estrutura virtual).

(Fonte: <http://weblab.pqi.ep.usp.br>)

A Figura 2.2 apresenta diagrama esquemático com detalhes do processo. Neste diagrama é possível observar como ocorre de maneira geral o fluxo de informação dentro da malha presente no experimento de Controle de Nível.

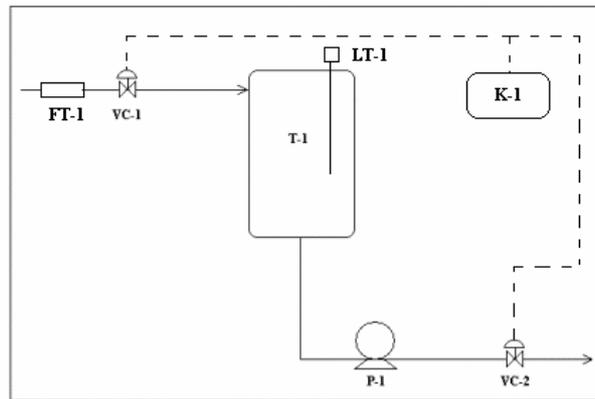


Figura 2.2: Diagrama esquemático do processo (experimento de controle de nível).
(Fonte: <http://weblab.pqi.ep.usp.br>)

A estrutura física do processo é composta basicamente pelos seguintes componentes:

- Tanque de vidro (T-1) com capacidade aproximada de 15 litros;
- Válvulas de controle (VC-1 e VC-2) com acionamento eletro-pneumático;
- Medidor de vazão (FT-1) do tipo turbina na entrada de água no sistema;
- Medidor de nível (LT-1) para o tanque de vidro;
- Medidores de temperatura (TT-1 e TT-2) do tipo T;
- Compressor de ar (K-1) para fornecimento de ar para as válvulas de controle;
- Bomba centrífuga (P-1) para o escoamento de água do tanque;
- Lâmpada para iluminação do ambiente.

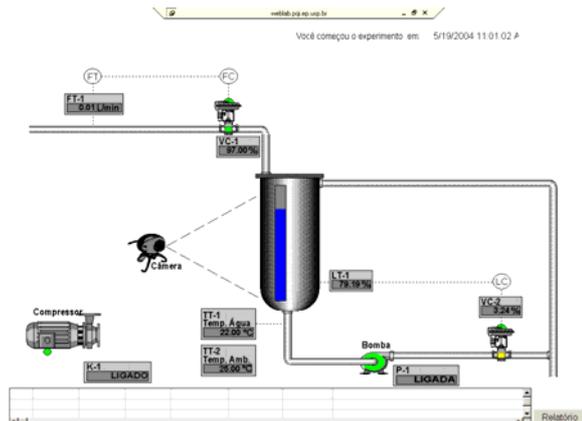
2.1 Descrição do Processo

O processo consiste de uma entrada de água ao sistema, que passa primeiramente por um medidor de vazão (FT-1) e por uma válvula de controle (VC-1) antes de entrar no tanque (T-1). No interior do tanque existe um medidor de nível (LT-1) que periodicamente fornece o valor do nível de líquido. O tanque possui duas saídas. Uma delas localiza-se na lateral superior do tanque, e serve para evitar o transbordamento do mesmo. A outra saída localiza-se no fundo do tanque. A água que passa por esta saída entra em uma bomba centrífuga (P-1), que serve para aumentar a pressão da linha. Após a bomba, o líquido finalmente passa por uma válvula de controle (VC-2) que regula a vazão de saída do processo.

A Figura 2.3 (A) apresenta a tela de apresentação do experimento acessado via Internet (<http://weblab.pqi.ep.usp.br>). A Figura 2.3 (B) por sua vez ilustra a tela de processo implementada no sistema supervisor.



(A)



(B)

Figura 2.3: (A) Tela de apresentação do WebLab; (B) Interface gráfica do processo implementada no sistema supervisorio.

(Fonte: <http://weblab.pqi.ep.usp.br>)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Realização do Experimento

O acesso e controle a distância do experimento ocorreu em duas oportunidades. A primeira, em dezembro de 2004, por um grupo de quatro alunos do sexto período (terceiro ano) do curso de Engenharia Química da UFSCar (CEQ-UFSCar) e quatro alunos do curso de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (CEQ-EPUSP). O segundo acesso foi realizado em junho de 2005 por dois alunos do CEQ-UFSCar e contou com a participação, como expectador, de um professor do curso de Química da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto (FFCL-USP-RP). Em ambos os experimentos, os alunos foram acompanhados por professores da disciplina de Análise e Simulação de Processos do curso de EQ-UFSCar. O professor em Ribeirão Preto utilizou o programa VNC Viewer Free Edition (versão 4.1.1, disponível em <http://www.realvnc.com/download.html>) como recurso para o acompanhamento das atividades dos alunos enquanto estes interagiam com o experimento. Este aplicativo possibilita ao usuário, munido da permissão adequada, assistir às atividades realizadas em um outro computador.

Antes da realização do primeiro experimento houve uma interação entre os alunos de ambas universidades (EPUSP-UFSCar). Nesta interação os alunos da UFSCar requisitaram informações (senha de acesso, detalhe do experimento, cuidados durante a operação, etc).

Os alunos acharam a iniciativa muito atrativa, pelo fato de operar remotamente o experimento que se encontrava localizado na EQ-EPUSP, a centenas de quilômetros de distância. Este tipo de operação remota já é fato real em várias indústrias e os alunos notaram que a possibilidade de vivenciar esta experiência no curso de graduação pode ser um diferencial na formação profissional.

A Figura 3.1 (A) mostra a janela onde a imagem do tanque era disponibilizada aos usuários. Ao longo da atividade, esta imagem era atualizada a cada quatro segundos. Os alunos comentaram que para o experimento este tempo era adequado, mas fizeram considerações quanto à velocidade que seria necessária em processos que apresentassem uma dinâmica mais rápida. Em relação a esta observação pode-se afirmar que com a utilização de uma rede de alta velocidade, como é o caso dos laboratórios integrantes do Projeto KyaTera*, inserido no Programa da FAPESP denominado TIDIA**, o limite de transmissão de dados não

* KyaTera é um termo composto pela união de duas palavras: Kya (rede em Tupi-Guarani) e Tera (Terabits por segundo).

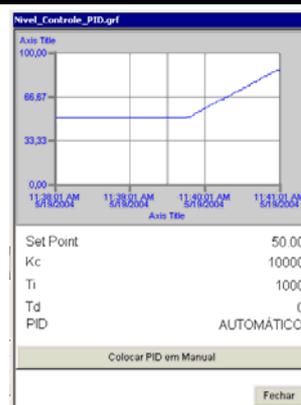
** TIDIA – Programa da FAPESP denominado Tecnologia da Informação no Desenvolvimento da Internet Avançada.

será o fator limitante e a taxa de atualização dos dados do experimento poderá refletir exatamente o processo real. O Projeto KyaTera, no qual os departamentos envolvidos neste trabalho se inserem, visa interligar um grupo de universidades paulistas em uma rede de Internet avançada, com o objetivo de promover o desenvolvimento de ferramentas de pesquisa e de trabalho colaborativo, voltadas tanto para a ciência aplicada como para as atividades de ensino.

A Figura 3.1 (B) apresenta o gráfico onde era registrado o comportamento do nível do tanque durante o decorrer da atividade. Nesta mesma janela os alunos podiam modificar os valores dos parâmetros do controlador PID, escolher o valor desejado do nível e selecionar entre controle manual e automático. Se escolhido controle manual, permitia o ajuste da vazão de saída através de uma barra de rolagem.



(A)



(B)

Figura 3.1: (A) Imagem fornecida pela câmera digital (webcam) (atualizada a cada 4 segundos); (B) Figura apresentando a variação do nível de água no tanque em função do tempo. Nesta janela é possível alterar entre controle manual/automático e ajustar os valores dos parâmetros do controlador (K_c , T_i , T_d).

A Figura 3.2 ilustra a tela apresentada ao final do experimento. Nesta tela é possível observar a trajetória completa do nível e de outras variáveis ao longo de todo o período do experimento. Os dados numéricos associados das variáveis são mostrados na parte inferior da tela na forma de uma tabela. Um dos pontos que chamou a atenção foi a possibilidade de recuperar, via Internet, os dados gerados ao longo do experimento, mesmo vários dias depois de realizado (os dados são gravados em arquivo texto armazenado no servidor local). Deste modo torna-se conveniente para os alunos o acesso e análise dos dados referentes ao experimento realizado diretamente de seus computadores pessoais.

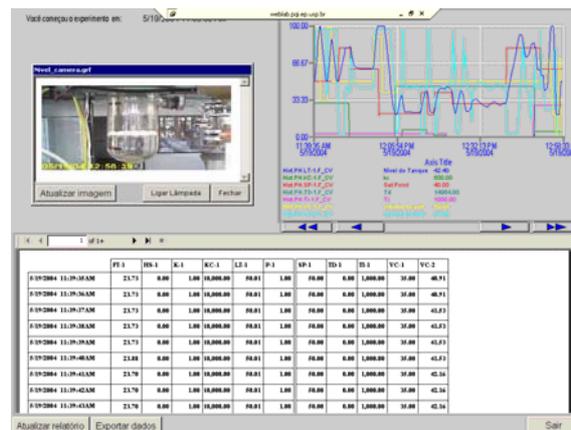


Figura 3.2: Tela apresentada ao final do experimento.

3.2 Modelamento Matemático do Experimento

Apresenta-se neste item o modelamento matemático deste processo.

Aplicando um balanço material tendo como volume de controle o tanque, obtém-se:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{4}{\pi \cdot D^2} \cdot (F_e - F_s) \quad (3.1)$$

onde:

D é o diâmetro interno do tanque,

F_e é a vazão de entrada (abertura ajustada remotamente pelo operador),

F_s é a vazão de saída (variável manipulada pelo controlador PID através de atuação em uma válvula controlada).

Definindo o erro, e , como sendo a diferença entre o valor atual da variável controlada e o valor desejado (*set-point*), podemos escrever a lei de controle da seguinte forma:

$$F_{s_n} = F_{s_n-1} + \Delta F_n \quad (3.2)$$

$$\Delta F = K_c \cdot \left[(e_n - e_{n-1}) + \frac{\Delta t}{\tau_i} \cdot e_n + \frac{\tau_D}{\Delta t} \cdot (e_n - 2 \cdot e_{n-1} + e_{n-2}) \right] \quad (3.3)$$

onde:

ΔF é a atualização no valor da variável manipulada

K_c , τ_i e τ_D são parâmetros do controlador PID

Δt o tempo de amostragem do sistema.

A expressão dada pela equação (3.3) representa o algoritmo PID na forma de velocidade (Stephanopoulos, 1984).

3.3 Simulador do Experimento de Controle de Nível

Com base neste modelo os alunos desenvolveram o simulador, que é mostrado na Figura 3.3. A intenção foi gerar uma ferramenta que possibilitasse a investigação de situações que poderiam tomar muito tempo se testadas no ambiente real.

O simulador oferece, essencialmente, toda a funcionalidade do experimento controlado via Internet, inclusive o movimento da imagem. Porém, o tempo de simulação pode ser ajustado manipulando-se o intervalo de amostragem. Além disso, é possível salvar os gráficos gerados, armazenar os dados em arquivos, carregar simulações anteriores e recorrer a um arquivo de ajuda com a descrição do experimento.

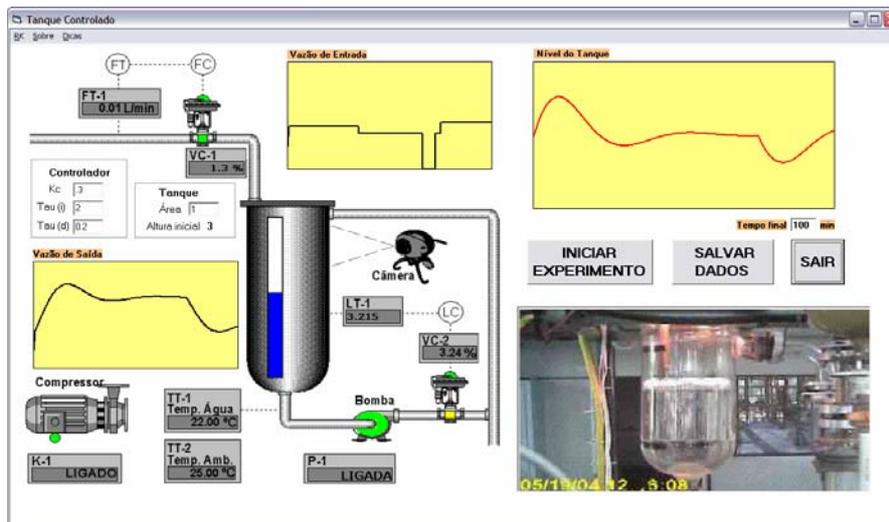


Figura 3.3: Tela do simulador desenvolvido em Visual Basic para o experimento de controle de nível.

4. CONCLUSÕES

Esta experiência foi desenvolvida como atividade extra-curricular da disciplina de “Análise e Simulação de Processos” no CEQ/UFSCar. Devido ao resultado atingido, pode ser

considerada uma ferramenta de ensino de grande valia, pela melhoria no aprendizado e estímulo proporcionado aos alunos e além de seu caráter de inovação. Esta atividade foi um primeiro passo para a efetiva implementação de experimentos entre os dois grupos de professores envolvidos no Projeto KyaTera. Através deste projeto estão previstos a implementação, ainda em 2005, de dois experimentos de operação remota no Departamento de Engenharia Química da UFSCar (Experimento de Transferência de Massa e Experiência de Cinética Enzimática).

A utilização de WebLabs proporciona aos estudantes a aquisição de experiência em laboratório a qualquer tempo e possibilita a realização de seus experimentos e relatórios de qualquer local onde se tenha acesso à Internet. Além disso, a implantação de WebLabs possibilita o compartilhamento de experimentos por diferentes instituições de ensino, permitindo que os alunos possam ter uma formação mais homogênea (nem todos laboratórios dispõem do mesmo conjunto de práticas experimentais).

Em relação ao experimento de controle de nível, um uso possível deste experimento é utilizá-lo como ferramenta de apoio nas aulas de controle que abordam o tema de sintonia de malhas de controle.

O simulador desenvolvido pelos alunos, reproduziu o experimento real existente e desta forma poderá ser utilizado com uma ferramenta de treinamento, fazendo com que os próprios alunos se preparem antes da realização da atividade.

Agradecimentos

Aos alunos Alexandre Lee Chen Chang, Daniel Enrique Hiramatsu Naggai, Renato Luis Makoto Hirata, Tami Giannini do CEQ/EPUSP-SP e alunos Athos Biselli, Evâneo Puzato, Flavio de Oliveira e Rafael Curraleiro do CEQ/UFSCar.
À FAPESP, Projeto Kyatera/TIDIA

5. BIBLIOGRAFIA

Shin, D., Yoon, E. S., Lee, K. Y., Lee, E. S., A web-based, interactive virtual laboratory system for unit operations and process systems engineering education: issues, design and implementation. *Computers and Chemical Engineering*, **26**: 319-330, 2002.

Stephanopoulos, G. *Chemical Process Control: An Introduction to Theory and Practice*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1984.

REMOTE OPERATION OF A DIDACTIC EXPERIMENT OF LEVEL CONTROL ACCESSED THROUGH INTERNET: “WEB-LAB” PROJECT

Abstract: *This work describes the remote operation of a didactic experiment of level control accessed through the Internet. The experiment is physically located in the WebLab (remote access laboratory) of the pilot project: “WebLabs Cluster in Chemical and Biochemical Process Engineering” from Escola Politécnica da USP – EPUSP (<http://weblab.pqi.ep.usp.br>). The experiment was performed by a group of undergraduates chemical engineer students from Chemical Engineering course of the Universidade Federal de São Carlos. After the experiment, students proposed and developed a simulator (programmed in visual language) of the didactic experiment of level control. Simulator could be available for using before WebLab access, providing a previous knowledge to the students. This work presents a brief description of the level control experiment and describes its operation. The mathematical model used to implement the simulator is presented and some topics regarding this new teaching approach are addressed.*

Key-words: *Distance learning, Internet, Didactic experiment, Remote access, WebLab.*