



XV COBEQ
A Engenharia Química
o Crescimento
Sustentável

II Congresso Brasileiro
de Termodinâmica
Aplicada - CBTERMO

26 a 29 de setembro de 2004

PLANTAS EXPERIMENTAIS DE ENGENHARIA QUÍMICA MONITORADAS VIA INTERNET

L. R. Ribeiro¹, C. Rodriguez¹, V. C. Machado¹, J. O. Trierweiler¹, A. R. Secchi¹

1-Grupo de Integração, Modelagem, Simulação, Controle e Otimização de Processos (GIMSCOP)
Departamento de Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Rua Engenheiro Luiz Englert, s/n, –CEP: 90040-040 – Porto Alegre – RS – Brasil
Telefone: (+0-55-51) 3316-4072 – Fax: (+0-55-51) 3316-3277
Email: {lribeiro, carolmay, vinicius, jorge, arge}@enq.ufrgs.br

RESUMO – Neste trabalho será apresentada a implementação da operação via INTERNET de plantas experimentais de engenharia química, a qual tem os objetivos de facilitar o acesso da comunidade de engenharia a experimentos importantes dentro dos cursos de engenharia. As plantas experimentais servem para complementar aulas teóricas em cursos de engenharia, tanto para cursos de graduação quanto para os cursos de pós-graduação.

PALAVRAS-CHAVE: INTERNET, plantas experimentais, ensino.

ABSTRACT – This work presents the implementation of the operation through the internet of experimental pilot plants of chemical engineering, which has the objectives to permit easily the access to the experiments and laboratory resources for the engineering community. The pilot plants developed are used to complement theoretical classes in engineering courses, both for the undergraduate and graduate courses.

1. INTRODUÇÃO

Avanços realizados nas áreas de sistemas de supervisão e aquisição de dados e na comunicação via INTERNET permitiram a montagem de plantas experimentais de engenharia química fáceis de se operar e capazes de representar inúmeras situações interessantes de engenharia, muitos deles apresentados e discutidos em sala de aula. Desta forma a compreensão do assunto pelo estudante e demais membros da comunidade científica tornou-se mais fácil, visto que após as aulas teóricas os fenômenos podem ser vislumbrados experimentalmente. Outra vantagem trazidas pelas plantas experimentais e pelos avanços da informática foi o aumento do

espaço de tempo que os estudantes têm para fazer a análise dos resultados, uma vez que os sistemas de aquisição de dados armazenam automaticamente as principais informações do processo ao longo do experimento e os usuários não precisam anotar medida alguma

Para maximizar o tempo de uso dos recursos do laboratório e facilitar o acesso remoto às unidades experimentais, a INTERNET passou a ser usada extensivamente. Através dela o usuário pode agendar experimentos, executar experimentos "on-line" e acompanhar de uma forma agradável o comportamento do processo e os fenômenos que foram ministrados em sala de aula. Este artigo será subdividido da seguinte



maneira: na seção 2 serão apresentadas as unidades piloto utilizadas neste trabalho que podem ser operadas via INTERNET. Na seção 3, é mostrada a implementação do sistema de operação das unidades via rede mundial de computadores. Na seção 4, um exemplo completo de experimento via INTERNET na planta de dois tanques é apresentado. Finalmente, a seção 5 conclui o trabalho.

2. PLANTAS EXPERIMENTAIS UTILIZADAS

As unidades projetadas e construídas possuem equipamentos amplamente usados na indústria de processos, como medidores de vazão, de temperatura, válvulas de controle, fato que permite familiarizar os alunos a tais equipamentos (Machado *et al*, 2000). Neste trabalho serão apresentadas três plantas: a unidade de dois tanques, a unidade de aquecimento e reciclo (trocador de calor) e a unidade de cinco tanques.

2.1 Planta de Dois Tanques

A planta de dois tanques é constituída de tanques com diferentes geometrias, cujos níveis estão acoplados. Os principais equipamentos são: medidor de vazão do tipo deslocamento positivo, válvulas solenóides, válvulas borboletas, válvulas de controle com operação motorizada, medidores de nível do tipo capacitivo e *strain gauge*. Os principais experimentos disponíveis nesta unidade são relativos ao controle de nível, listados abaixo:

- identificação de modelos (perturbações).
- projeto, sintonia e avaliação de desempenho de controladores (PID, MPC).
- estudo do efeito *windup* e técnicas *anti-windup* (Aström, 1994).

A Figura 1 apresenta uma foto da unidade de dois tanques.



Figura 1 – Foto da unidade de dois tanques.

2.2 Planta de Trocador de Calor

A unidade de aquecimento e reciclo ou planta de trocador de calor, permite a avaliação das principais variáveis em processos de transferência de energia, além de possibilitar o estudo da integração energética, muito comum em unidades industriais modernas. A unidade é constituída pelos seguintes equipamentos, além de ter um trocador de calor do tipo duplo tubo: medidores de vazão do tipo placa de orifício e indução eletromagnética, termopares, válvulas de controle e válvulas solenóides. Os experimentos realizáveis nesta unidade são:

- estudo do raio crítico de isolantes térmicos.
- identificação de modelos e projeto de controladores.
- estudo do efeito da integração energética no controle do processo.
- efeito do reciclo na dinâmica do sistema.
- comparação da qualidade das medidas de vazão realizadas pelos diferentes tipos de medidores.



- estudo do efeito das variações de temperatura do fluido na medida de vazão.

A Figura 2 mostra uma foto da unidade de aquecimento e reciclo.



Figura 2 – Foto da unidade de aquecimento e reciclo.

É importante ressaltar que trocadores de calor são equipamentos amplamente empregados no meio industrial, especialmente em sistemas de geração de vapor, indústrias petroquímicas e refinarias. Desta forma, os fenômenos de transferência de calor em permutadores de calor é um tema constantemente estudado, conforme pode ser observado em Trierweiler *et al*, 1998.

2.3 Planta de 5 Tanques

A unidade de cinco tanques é utilizada para ilustrar uma série de conceitos utilizados em cursos de controladores multivariáveis. Particularmente, apresenta fenômenos de inversão de ganho multivariável que inviabiliza a aplicação de controladores convencionais (controladores lineares). Desta forma, esta unidade pode ser utilizada para testes de controladores não-lineares industriais,

conforme observado no trabalho de Farenzena *et al*, 2003. A unidade é constituída pelos seguintes equipamentos: medidores de nível baseados na diferença de pressão, válvulas de controle e bombas submersas. Os experimentos mais indicados para serem realizados nesta unidade são:

- comparação entre controladores lineares e não-lineares.
- identificação de modelos dinâmicos e projeto de controladores lineares.
- reconciliação de dados e detecção de falhas.

A Figura 3 apresenta uma foto da unidade de cinco tanques.

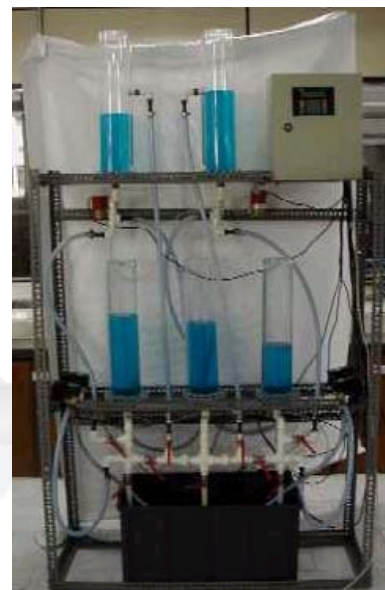


Figura 3 – Foto da unidade de cinco tanques.

A unidade de cinco tanques foi baseada especialmente no trabalho de Johansson, 2000. No entanto, foi adicionado mais um tanque central e a alimentação dos reservatórios é feita por baixo.

A seção 3 apresentará a implementação da operação via INTERNET das plantas apresentadas anteriormente.

3. OPERAÇÃO DAS UNIDADES VIA INTERNET

Para a realização de experimentos nas unidades citadas acima, é necessário cadastrar-se no site das plantas experimentais. O usuário é hierarquizado em 3 níveis: Aluno da UFRGS, que utilizará as unidades através da rede local do Departamento de Eng. Química, usuário comum, que poderá somente realizar experimento *off-line*, enviando os parâmetros necessários e usuário especial, que poderá realizar experimentos *on-line*. O experimento *off-line* é aquele no qual o usuário não acompanha o experimento durante a sua realização, enquanto o experimento *on-line* é aquele que o usuário pode atuar no processo em tempo real.

A Figura 4 mostra a página de INTERNET para o cadastro de usuário especial.

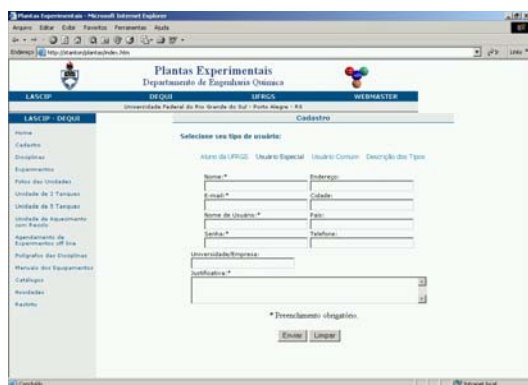


Figura 4 - Exemplo de página de cadastro : usuário especial.

Após realizado o cadastro, é necessária a aprovação do administrador do site, sendo que a partir da aprovação, o usuário já pode realizar seus experimentos. No caso do usuário especial, que tem direito a realizar experimentos *on-line*, primeiramente ele deve escolher em qual unidade deseja realizar seu experimento. Posteriormente, ele realiza seu *login* na página de operação *on-line* daquela unidade, e pode

iniciar seu experimento. Abaixo é mostrada a página de *login* da unidade de dois tanques.

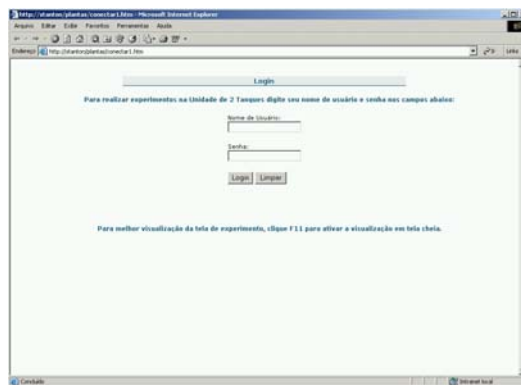


Figura 5 - Página de *login* para experimento *on-line* na unidade de dois tanques.

O programa supervisor utilizado para a operação das unidades é o Eclipse-E3, que permite a possibilidade de atuar sobre o processo através de uma janela do Internet Explorer. Ao dar o *login* para experimento *on-line*, é mostrada ao usuário uma página com o fluxograma simplificado da unidade, a qual é também uma tela do aplicativo de operação da unidade feita no programa supervisor. O usuário então, pode atuar sobre o processo, iniciando seu experimento, simplesmente clicando sobre o desenho da bomba centrífuga para acioná-la, determinar a posição de abertura das válvulas ou acionar um controlador. Essa mesma tela conduz a outras partes do sistema supervisor, como tela de gráficos e parâmetros de controlador. As Figuras 6 e 7 mostram algumas dessas telas.

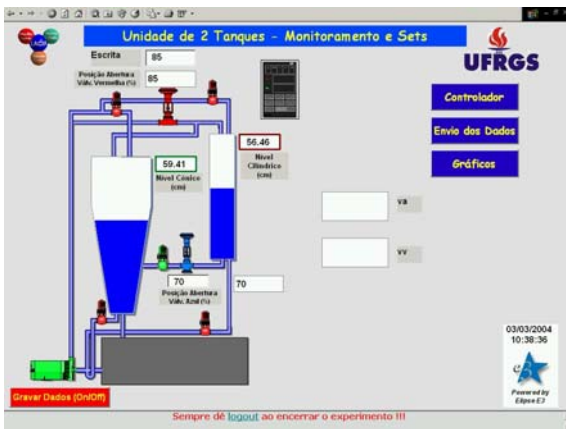


Figura 6 - Tela Principal de operação da planta de dois tanques.

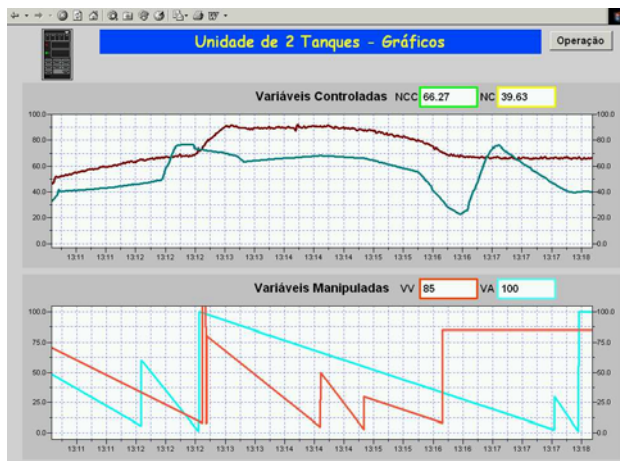


Figura 7 - Tela mostrando os gráficos da variáveis controladas e manipuladas da planta de dois tanques.

Ao realizar experimentos *on-line*, o usuário pode receber os dados de seu experimento em diversos formatos conhecidos, como por exemplo, PDF (*Post Document Format*), TXT (Arquivos de texto), HTML (*Hyper Text Markup Language*), e também em forma de planilhas do MICROSOFT EXCEL, bastando informar qual é o formato desejado no momento que quiser ter os dados salvos.

Além da operação *on-line*, pode-se realizar o agendamento de experimentos. Este é o procedimento que o usuário comum é obrigado a fazer, e os demais tipo de usuários podem optar por essa forma. O procedimento é

semelhante ao procedimento *on-line*, porém o usuário faz uma reserva da unidade experimental pelo tempo que pensa ser necessário para realizar seu experimento. Depois envia-se os valores das as ações que deverão acontecer durante o experimento, informando também o horário que deverão acontecer.

Essas informações são armazenadas em banco de dados, sendo chamadas pelo programa de supervisão no momento agendado do experimento, sendo os dados enviados para o usuário posteriormente, via correio eletrônico.

4. EXPERIMENTO ILUSTRATIVO

A título de ilustração, nesta seção será apresentado um experimento de controle de processos via INTERNET na unidade de dois tanques. O experimento consiste no controle do nível do tanque cilíndrico da unidade através da variação da posição de abertura da válvula de controle da linha de alimentação. Para que o nível seja controlado com sucesso, um bom modelo dinâmico entre a variável manipulada (percentual de abertura da válvula de controle) e a variável controlada (nível, medida em centímetros) deve ser determinado. Portanto, este experimento pode ser dividido em duas partes: a primeira parte abrange a identificação de um modelo através da geração de dados de testes do tipo degrau, muito utilizados industrialmente, e a segunda parte diz respeito ao projeto de um controlador do tipo PI (Proporcional – Integral) e a análise de seu comportamento frente às mudanças de setpoint, por exemplo.

Após o usuário ter se conectado ao sistema de acordo com as normas apresentadas na seção 3, inicia-se o experimento de identificação do modelo. Neste experimento, fez-se algumas alterações na posição de abertura da válvula de alimentação (variável manipulada) e observou-se a variação de nível, como pode ser observado na Figura 8.

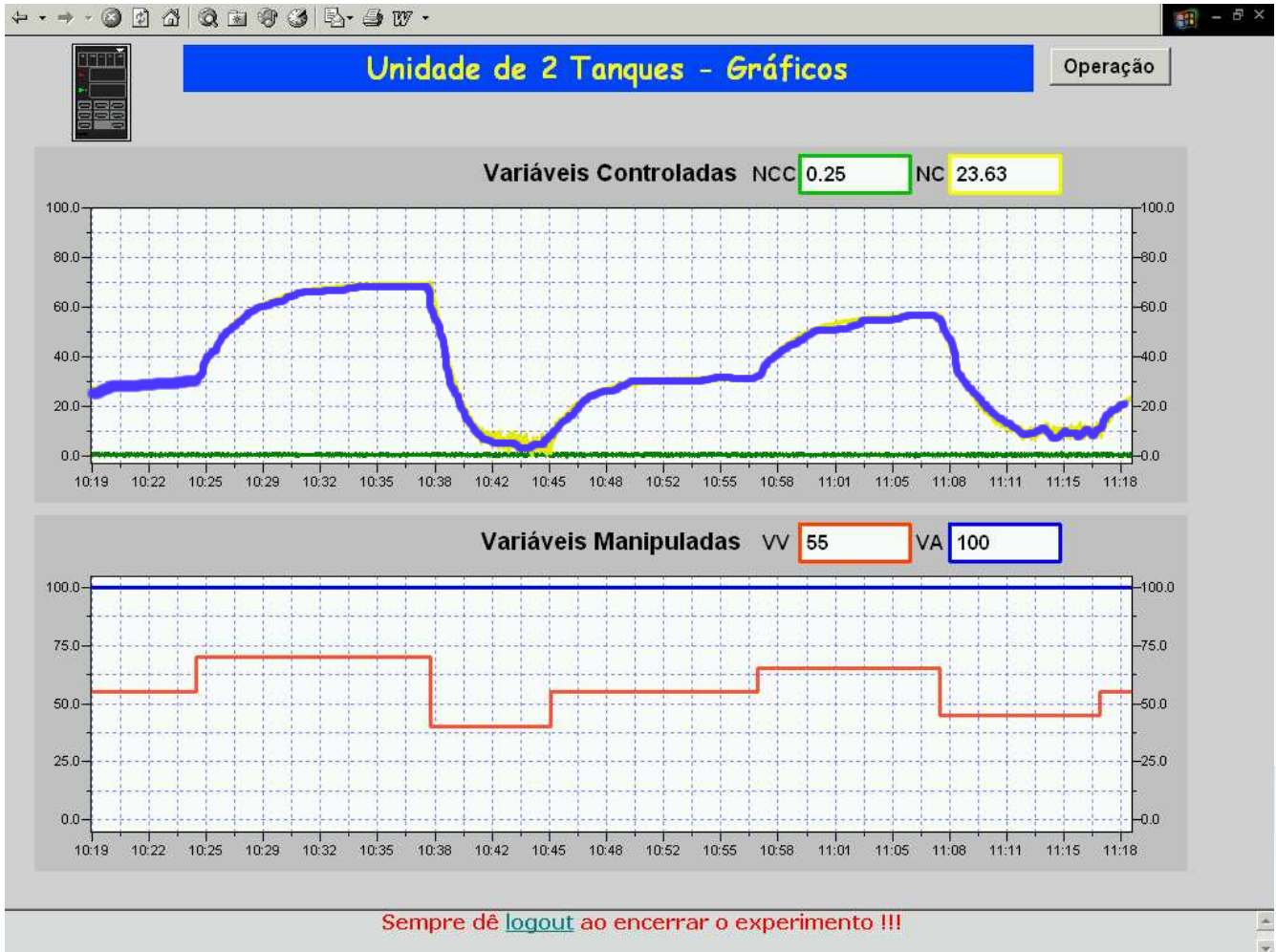


Figura 8 – Página de INTERNET ("on-line") contendo os dados do teste de identificação do modelo da posição de abertura da válvula de alimentação e o nível do tanque cilíndrico da planta de dois tanques.

Como pode ser observado na Figura 8, a posição da variável manipulada, neste caso a posição de abertura da válvula de alimentação, é alterada através de uma das caixas de texto acima do gráfico inferior. As variáveis NCC e NC são os níveis dos tanques dos tanques cônico-cilíndrico e cilíndrico, respectivamente, e as variáveis VV e VA são as posições de abertura das válvulas de controle vermelha (válvula de alimentação) e azul (válvula de interação entre os tanques), respectivamente. Após a realização do teste de identificação, parte-se para o processamento dos dados, isto é, a estimação dos parâmetros do modelo e

projeto do controlador. É importante salientar que estes cálculos devem ser executados sob a responsabilidade do usuário. Os parâmetros de sintonia do controlador projetado pelo usuário devem ser inseridos na tela mostrada na Figura 9. Nesta mesma tela o responsável pelo experimento tem a total liberdade de mudar o setpoint de nível, os parâmetros do controlador e também escolher se a ação de controle é do tipo direta ou reversa. Além da edição e aplicação dos parâmetros, tem-se, novamente através de gráficos de tendência, a oportunidade de acompanhar o processo e observar quais as ações de controle que o controlador está



tomando para manter o nível em um determinado setpoint. Em particular, na Figura 9, é possível verificar que o setpoint de nível do

tanque cilíndrico foi variado e as ações de controle procuraram manter o processo nos patamares desejados pelo usuário.

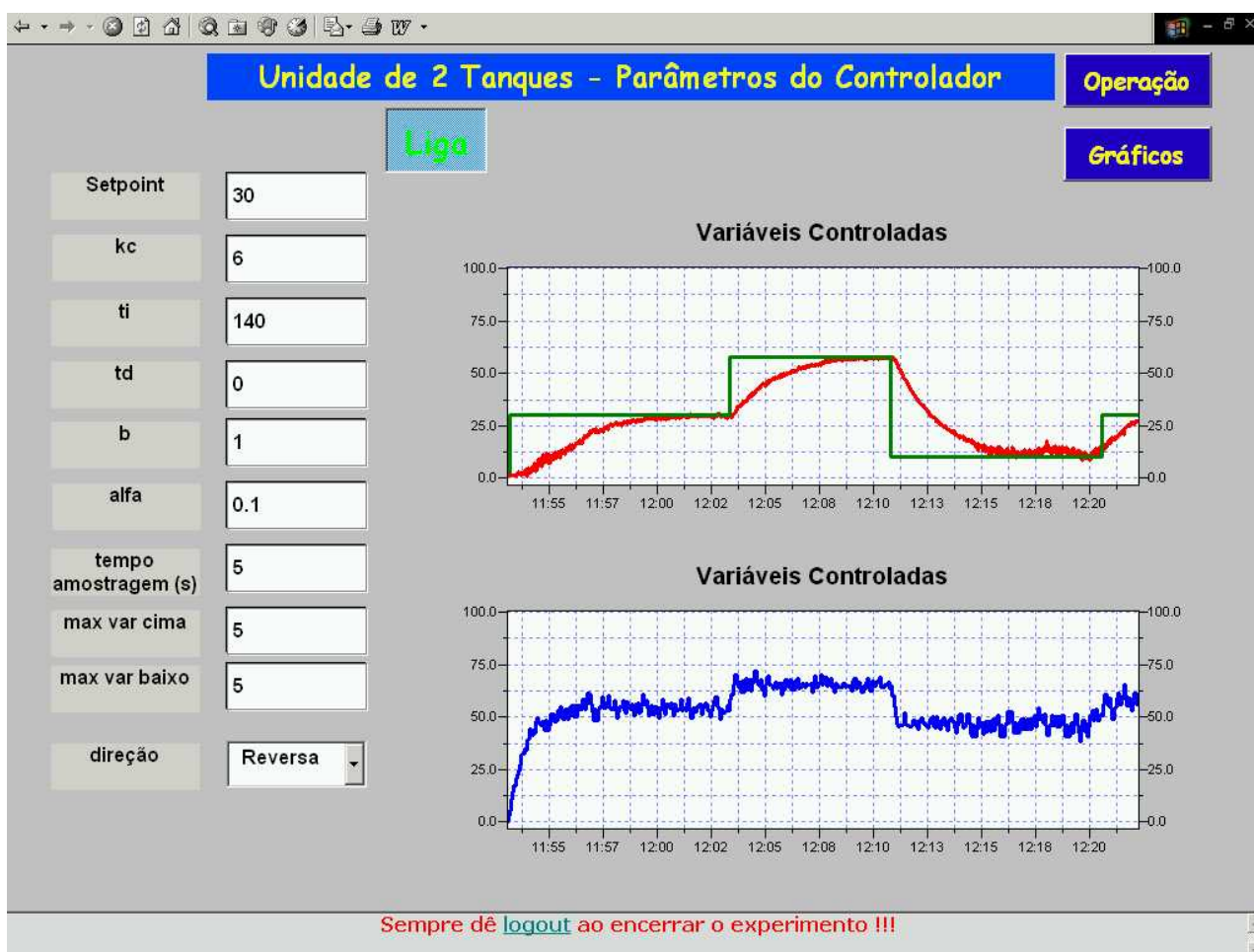


Figura 9 – Página de INTERNET ("on-line") contendo os dados do teste em malha fechada para o controle do nível do tanque cilíndrico da planta de dois tanques além das caixas de edição dos parâmetros do experimento.

5. CONCLUSÕES

A operação de unidades experimentais via INTERNET facilitam muito o acesso e a operação de unidades experimentais de engenharia, propiciando a realização de experimentos de uma forma rápida e agradável. Aliado a estes benefícios, pode-se citar outras vantagens da operação via INTERNET, como por exemplo, a maximização do uso dos equipamentos presentes em laboratórios de

pesquisa e também a ampliação notável do público alvo, antigamente restrito apenas aos estudantes de engenharia química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Atualmente uma série de novos experimentos estão sendo elaborados e serão em breve disponibilizados no site das plantas <http://www3.enq.ufrgs.br/plantas/index.htm>.



6. BIBLIOGRAFIA

ASTRÖM, K. J., "*PID Controllers: theory, design and tuning*", **1994**.

FARENZENA, M., TRIERWEILER, J.O., SECCHI A. R., "*The Quintuple-Tank Laboratory Plant: A Challenge Control Problem*", AIChE 2003 Annual Meeting.

JOHANSSON, K. H. , "*The Quadruple-Tank Process: A multivariable Laboratory Process with an Adjustable Zero*", IEEE Transactions on Control Systems Technology, V.8 (3), **2000**, p.456-465.

MACHADO, V.C., SECCHI A.R., TRIERWEILER J. O., "*Plantas Experimentais com Fins Didáticos Acessadas Via INTERNET*", Anais do XII Salão de Iniciação Científica da UFRGS, **2000**, Porto Alegre, RS.

TRIERWEILER J. O., SCHULTE, B., ENGELL, S., "*Dynamics and control of a process with recycle streams*", Journal of Process Control, Vol.8, (5-6), p. 507 a 515, **1998**, Elsevier.

