

UM WEBLAB PARA ENSINO DE CONTROLE EM CURSOS DE ENGENHARIA

Wânderson de Oliveira Assis – wanderson.assis@maua.br

Thiago Fernandes – eng.tfernandes@gmail.com

Vinícius Gomes Pacheco – vinicius@maua.br

José Carlos de Souza Júnior – jcarlos@maua.br

Alessandra Dutra Coelho – alessandra.coelho@maua.br

Rodrigo Alvite Romano – rromano@maua.br

IMT – Instituto Mauá de Tecnologia – Escola de Engenharia Mauá

Praça Mauá, 1 – B. Mauá

09580-900 – São Caetano do Sul – SP

Resumo: Este artigo apresenta a criação de um laboratório de acesso remoto, um WebLab, constituído de equipamentos e sistemas reais que podem ser controlados à distância através da internet. Na proposta, o WebLab deve permitir o desenvolvimento de experimentos multidisciplinares principalmente voltados às áreas de controle de processos e automação, podendo ser utilizado como ferramenta de ensino de engenharia bem como no desenvolvimento de projetos de pesquisa. Nesta etapa inicial o WebLab contempla o desenvolvimento de um aplicativo que permite realizar de forma remota, acessando uma página específica na internet, o controle do acionamento de um motor CC. Utilizando este aplicativo o usuário pode realizar experimentos que incluem o ensaio em malha aberta, com o objetivo de obter a modelagem não-paramétrica do sistema, bem como a sintonia de controladores PID para garantir o acionamento com eficiência permitindo o controle de posicionamento ou velocidade do motor.

Palavras-chave: WebLab, ensino de engenharia, sistemas de controle, controle PID.

1 INTRODUÇÃO

A crescente evolução da tecnologia da informação e o surgimento de novas ferramentas computacionais propiciam consideráveis avanços no ensino e pesquisa à distância. Os laboratórios de acesso remoto, os WebLabs, são exemplos claros da utilização da computação na educação, mas com um grande diferencial pois propiciam a possibilidade de aprendizagem real com controle à distância. Isto é possível porque os WebLabs proporcionam a possibilidade de desenvolver experimentos práticos, acessando remotamente pela internet equipamentos em laboratórios reais, permitindo seu controle e aquisição de dados em tempo real.

Os laboratórios remotos representam uma grande evolução no conceito de inclusão digital, pois podem permitir que estudantes e pesquisadores, independente do seu nível econômico, possam acessar equipamentos, alguns deles complexos e relativamente caros, instalados em laboratórios de diversas instituições de ensino. Adicionalmente os WebLabs podem oferecer aos estudantes treinamento em equipamentos similares aos encontrados no mercado de trabalho, além de permitir a integração entre estudantes e instituições podendo impulsionar o desenvolvimento de outras pesquisas e estimular a implantação de projetos em parceria.

Os WebLabs veem sendo implantados em diversas instituições desde os anos 90 apresentando soluções para operação remota geralmente utilizando *software* disponível comercialmente (OGOT *et al.*, 2003) (GONZALEZ-CASTAN *et al.*, 2001) (EWALD e PAGE, 2001) e em algumas delas utilizando redes dedicadas (OKAJIMA, *et al.*, 2006). Vários trabalhos reportam sobre a experiência na utilização de WebLab's para o ensino de física, química (JESUS *et al.*, 2006) (CRUZ *et al.*, 2006), controle (CASINI *et al.*, 2003) (CRUZ *et al.*, 2005) e robótica (COELHO *et al.*, 2007). Alguns WebLabs proporcionam a possibilidade de desenvolver experimentos práticos em áreas multidisciplinares, como por exemplo o controle de processos, a robótica e eletrônica, além de adicionalmente permitir a utilização de ferramentas de simulação (HANN e SPONG, 2000) (KHALIL *et al.*, 2009).

Dentro deste contexto, este projeto consiste na implantação de um processo industrial, constituído de equipamentos e sistemas reais que podem ser controlados à distância através da internet. O WebLab está sendo utilizado como uma ferramenta didática interativa destinada ao ensino com aplicação em diversas áreas e disciplinas, com especial ênfase no ensino de controle e instrumentação principalmente para estudantes dos cursos de engenharia elétrica, engenharia eletrônica, engenharia mecatrônica e engenharia de controle e automação.

2 SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Um sistema de controle computadorizado geralmente consiste de um computador digital, uma placa de aquisição de dados, circuitos de interface e um pacote de *software* que permite obter, analisar e mostrar os dados obtidos na aquisição (ASSIS *et al.*, 2008).

No WebLab, o controle da planta é desenvolvido utilizando sistema de aquisição de dados com kit educacional ELVIS[®] (*Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite*) e algoritmo introduzido em linguagem gráfica LabVIEW[®] com interface gráfica visível para o usuário (ASSIS *et al.*, 2009). O kit educacional ELVIS[®] da National Instruments é ilustrado na Figura 1 sendo constituído de uma placa de aquisição de dados (DAQ – *Data Aquisition*) multifuncional modelo NI PCI-6251 e uma estação de trabalho com *protoboard* onde o projetista pode desenvolver as aplicações. Além de manipular sinais de entrada e saída analógicos e digitais o kit permite desenvolver uma série de instrumentos virtuais que incluem osciloscópio, gerador de função, multímetro digital (DMM), fonte de tensão variável, analisador de Bode, analisador de sinais dinâmicos, analisador de impedâncias e analisador de tensão-corrente.



Figura 1 – Aplicação de aquisição de dados com kit ELVIS

3 SISTEMA DE CONTROLE DE VELOCIDADE E POSIÇÃO

O sistema de controle de velocidade e posição de um motor utilizado no WebLab está apresentado na Figura 2, sendo constituído do kit didático CtBoard, uma ferramenta disciplinar voltada para o desenvolvimento de aplicações de controle, juntamente com o kit ELVIS[®] (*Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite*) da National Instruments.



Figura 2 – CtBoard e montagem da placa sobre o kit ELVIS[®]

A placa CtBoard, concebida na própria instituição e desenvolvida em conjunto com uma empresa que atua na área de kits didáticos, é constituída dos seguintes componentes:

- motor de corrente contínua (CC) de 24 V, 0,5 A e com redução de cerca de 10,7 x 1;
- sistema com encoder construído utilizando sensores ópticos (chaves optoeletrônicas PHCTX0X), LED e fototransistor;
- fonte de alimentação de 24 V e 1,5 A;
- sistema microcontrolado utilizando DsPIC (dsPIC33FJ64GP706); e
- *driver* para motor (ponte H LMD18200).

A integração do motor com a plataforma ELVIS[®] é feita através de canais de entrada e saída analógicos. Um dos canais de saída analógica da placa de aquisição de dados é ligado a um circuito integrado de potência (*driver*) que gera o sinal de acionamento do motor.

O módulo didático CtBoard possui um sensor de corrente além de um circuito eletrônico para gerar pulsos de acordo com a rotação do motor, funcionando de forma similar a um *encoder*. O sistema é construído utilizando dois sensores ópticos fixados de forma a detectar a movimentação dos dentes do disco; assim é possível determinar a posição angular do eixo bem como, por meio da contagem de pulsos produzidos, determinar a velocidade do motor. Foram utilizados dois sensores, adequadamente defasados de modo que é possível obter uma referência da direção de acionamento (sentido horário ou anti-horário). Estes sinais são tratados na própria CtBoard através do processador dsPIC33FJ64GP706 de modo que sinais proporcionais à posição, velocidade angular e corrente do motor são ligados a canais de entrada analógica da plataforma ELVIS[®].

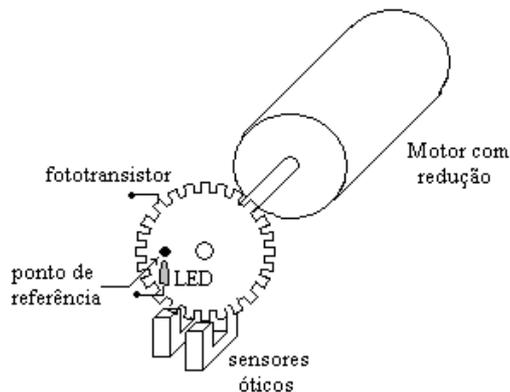
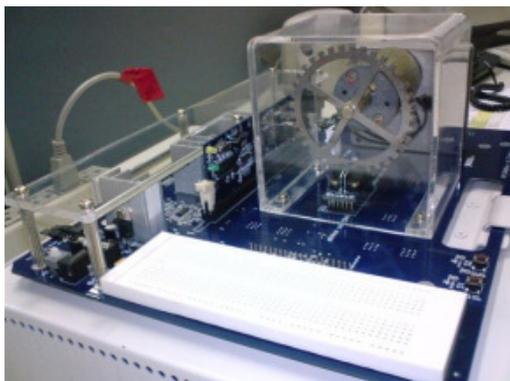


Figura 3 – Detalhe do sistema com *encoder* da CtBoard

4 DESENVOLVIMENTO DO WEBLAB

Para desenvolver a interface de acesso foram utilizados os *softwares* LabVIEW[®], Yawcam[®] e códigos *html*. Quatro etapas foram necessárias neste processo:

- criar o aplicativo em LabVIEW[®] com interface apropriada para o usuário visando permitir a realização do controle de velocidade e posição do motor de corrente contínua;
- habilitar a função *WebServer* para permitir o acesso remoto e configurar o painel de gerenciamento de acesso;
- desenvolver o sistema de captura e transmissão de imagem;
- modificar o código *html* adicionando texto com introdução teórica, informações específicas da instituição, instruções gerais para usuários, figuras, etc.

Aplicativo em LabVIEW[®]

O aplicativo de controle consiste basicamente num programa desenvolvido em linguagem gráfica que permite o acesso ao sistema de aquisição de dados bem como a introdução de componentes de controle utilizando o pacote de programação *Control Design and Simulation*. A Figura 4 ilustra um exemplo de algoritmo de controle desenvolvido em LabVIEW[®], mas apresentado de forma mais resumida que o efetivamente utilizado no aplicativo. O aplicativo produz uma interface apropriada para o usuário por meio da qual é possível visualizar o sinal produzido pelos sensores além de modificar o sinal de referência da malha de controle (*Setpoint*), conforme pode ser visto na Figura 5. Por meio da interface o usuário poderá selecionar o tipo de controle que será realizado (posição ou velocidade) bem como o modo de operação: malha aberta e malha fechada com controle PID. Após efetuada a seleção o usuário poderá realizar o ajuste dos parâmetros do controlador, ou seja, a sintonia do controlador PID, escolhendo valores para os parâmetros K_P , K_I e K_D , considerando que o tempo de amostragem foi fixado em $T = 0,01$ s. Obviamente, para fazer o ajuste adequado será necessário que o usuário tenha aprendido conceitos relacionados ao projeto de sistemas de controle. Com os parâmetros ajustados, o usuário pode ajustar o valor da entrada (*Set Point*) e verificar o desempenho do sistema de controle, ou seja, verificar se a velocidade ou a posição do motor é alterada a partir do ajuste do valor de entrada.

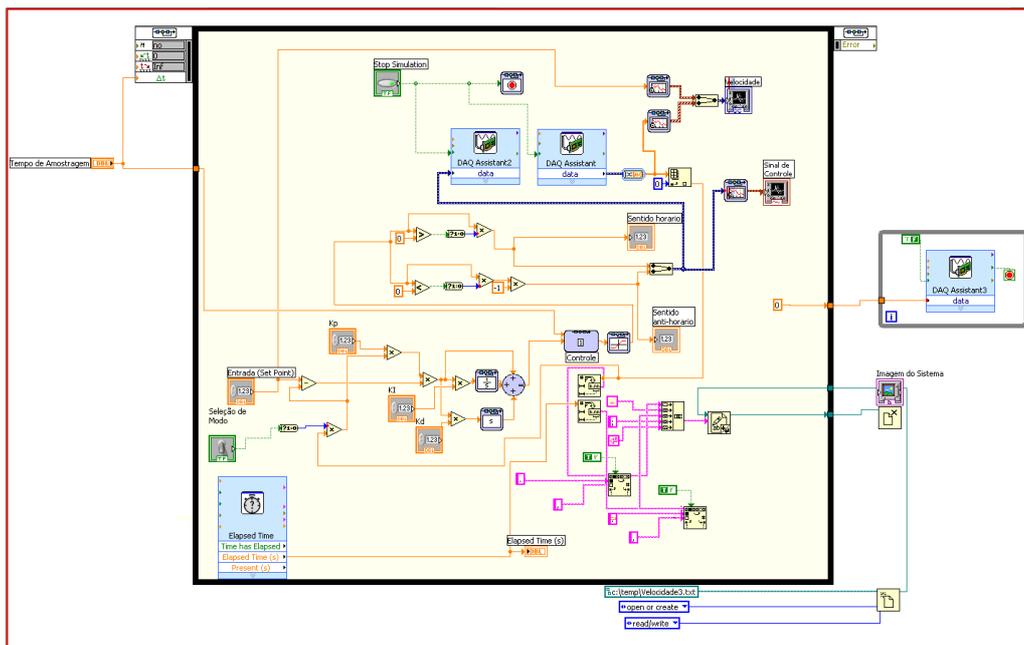


Figura 4 – Aplicativo em LabVIEW[®] para o sistema de controle

WebServer

Para permitir o acesso remoto é necessário habilitar a função *WebServer* do *software*. Após a habilitação utiliza-se a ferramenta *Web Publishing Tools* para transmitir, via internet, o experimento para a tela do usuário. Por meio desta ferramenta é possível fazer várias configurações associadas ao modo de visualização, tempo de atualização da página, configuração inicial de título, cabeçalho e rodapé da página na internet, escolha do nome do arquivo *html* e o mais importante, o endereço da página do documento, a qual deve estar associada a um IP disponível.

Caso as configurações iniciais tenham sido realizadas corretamente, é possível desde já fazer o acesso ao experimento. Para isto deve-se digitar no *browser* de internet o endereço escolhido para o WebLab, o qual, neste caso específico foi escolhido como:

<http://weblab1.maua.br>

Para ter acesso completo à janela de programação torna-se necessário carregar e instalar uma ferramenta do LabVIEW[®]. Trata-se da ferramenta **LabVIEW Run-Time Engine 2010** que pode ser obtida diretamente de página da National Instruments. Trata-se de um *software* livre disponível, mesmo se o LabVIEW[®] não estiver instalado na máquina do usuário.

Outra ferramenta importante que pode ser configurada no *software* é o painel de gerenciamento de acesso, onde são disponibilizadas informações sobre os usuários conectados ao Weblab. Por meio desta ferramenta é possível obter uma listagem dos usuários que acessaram o experimento (nome do computador do usuário e IP), data e horário do início e término da conexão, o *status* da conexão e a taxa de transferência de dados em bytes por segundo. É possível também realizar o controle do tempo de acesso, de forma que, quando houver mais de um usuário tentando acessar o experimento, gera-se um sistema de fila, no qual o usuário que primeiramente acessar a rede poderá manter o controle por um tempo limitado, a partir do qual seu acesso será bloqueado, sendo o experimento liberado para outros usuários que estiverem na fila.



INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA

WebLab

Laboratório a distância pela Web

WebLab > Controle remoto de posição e velocidade de um servomotor de corrente contínua

Controle remoto de posição e velocidade de um servomotor de corrente contínua

Essa aplicação permite realizar o controle de velocidade de um servomotor de corrente contínua remotamente. Inclusive fazendo a aquisição de dados que serão dispostos em gráficos atualizados em tempo real, além de uma câmera de vídeo para acompanhar o resultado.

Status: Em funcionamento
 Desenvolvimento: Thiago Fernandes
 Orientação: Prof. Dr. Wánderston de Oliveira Assis
 Câmera: Eng. Vinicius Gomes Pacheco

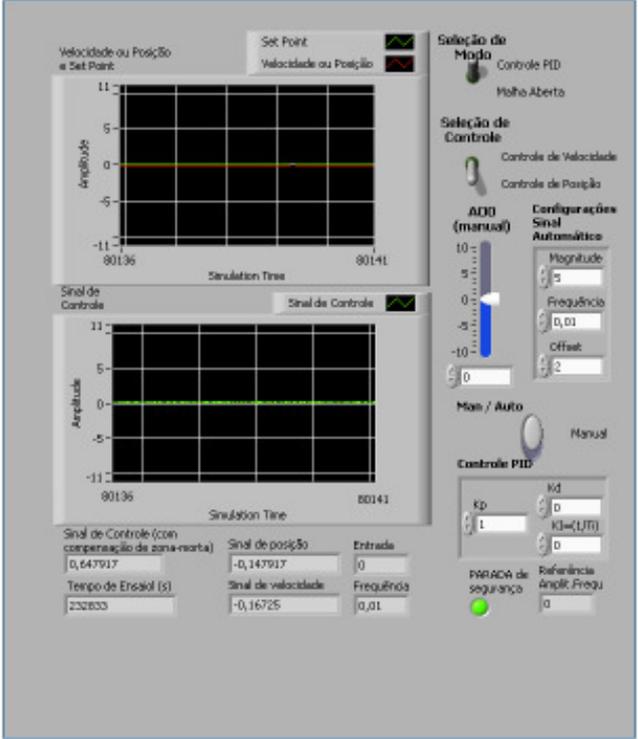
Introdução teórica

Servomotor CC

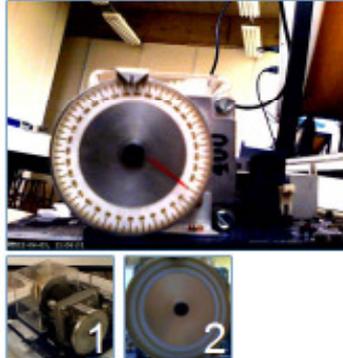
Neste experimento utiliza-se o kit didático CtBoard, ilustrado na Figura 1, uma ferramenta disciplinar voltada para o desenvolvimento de aplicações de controle, juntamente com o kit ELVIS[®] (Educational Virtual Instrumentation Suite) da National Instruments. A aquisição de dados do sistema e a introdução do algoritmo de controle no experimento foram realizados utilizando o software LabVIEW[®], também da National Instruments.

[Mostrar toda a introdução teórica.](#)

Aplicação



Video



Instruções

1. Para solicitar acesso ao experimento, clique com o botão direito do mouse sobre a tela e faça a requisição de acesso em Request Control of VI. Para liberar o controle, selecione Release Control of VI.
2. Selecione o modo de operação: malha aberta ou controle PID. Em seguida selecione a variável que você quiser controlar (posição ou velocidade do servomotor).
 - 2.1. Malha aberta - Permite realizar o ensaio em malha aberta no motor CC. Para isto controle a tensão de entrada do motor (Set Point).
 - 2.2. Controle PID - Permite realizar o controle PID com realimentação unitária. Para isto sintonize os parâmetros do controlador PID (K_p , T_i e T_d) e ajuste a tensão de entrada (Set Point). Caso esteja utilizando componente integradora, ajuste também o ganho do controlador anti-windup por meio da entrada K_i . Ajuste os parâmetros do controle de forma otimizada, dependendo da variável que se pretende controlar, ou seja, posição ou velocidade do servomotor.

Figura 5 – Página do experimento de controle de posição e velocidade visualizada pelo usuário

Sistema de captura e transmissão de imagem

Para que o usuário possa interagir melhor com o experimento, foi adicionado ao Weblab duas Webcam's. A primeira captura uma imagem geral do sistema em tempo real, permitindo visualizar toda a planta em funcionamento. A segunda obtém uma imagem do disco acoplado ao eixo do motor, permitindo acompanhar a movimentação do eixo do motor e o correspondente deslocamento angular produzido. Esta imagem é importante principalmente para a análise do funcionamento do sistema de controle de posição. Vários *softwares* podem ser utilizados para permitir o acesso à imagem. Nesta aplicação utilizou-se o *software* Yawcam que captura as imagens e as grava no mesmo local no computador continuamente. Quando a página é aberta, um código Javascript é executado, captura a imagem do servidor e coloca-a na tela. Este código é repetido a cada 100ms, portanto permitindo trabalhar com 10 FPS (*frame per seconds*).

Modificação no código *html*

Após a criação do WebLab utilizando a ferramenta *Web Publishing Tools* é possível acessar a página de internet criada e modificá-la, utilizando qualquer editor de texto. Neste caso, as modificações realizadas no código *html* incluem:

- inclusão das imagens produzidas pelas Webcam's;
- criação de cabeçalho e rodapé personalizados com informações sobre a instituição e identificação dos pesquisadores envolvidos no projeto;
- modificação e ajuste do título do experimento, incluindo o logotipo com *link* para a página da instituição de ensino;
- apresentação de introdução teórica sobre o experimento;
- apresentação de instruções gerais para utilização do experimento, além de um alerta sobre a necessidade de instalação do *LabVIEW® Runtime Engine*.

5 EXPERIMENTOS NO WEBLAB

O laboratório remoto desenvolvido pode ser utilizado como ferramenta interativa didática para estudo à distância, permitindo que os alunos possam avaliar, na prática, o aprendizado na área de engenharia de controles. Os seguintes experimentos podem ser realizados utilizando o WebLab:

- modelagem matemática dos sistemas de controle de velocidade e posição;
- análise do comportamento dinâmico e da estabilidade dos sistemas de controle de velocidade e posição;
- projeto e implementação do controlador PID para sistemas de controle de velocidade e posição.

Os experimentos listados acima foram propostos numa atividade didática para alunos do curso de pós-graduação em Engenharia de Automação e Controle Industrial. O WebLab mostrou-se como uma excelente alternativa para permitir a avaliação do aprendizado de conceitos como: análise do comportamento dinâmico de sistemas lineares, análise do erro estacionário em sistemas de controle com realimentação, modelagem não-paramétrica de sistemas lineares de 1ª e 2ª ordem, análise de estabilidade baseada no critério de estabilidade de Routh, projeto de controladores proporcionais baseados no método do lugar das raízes e a

implementação destes controladores, sintonia de controladores PID e seu efeito com a presença de não-linearidades, etc.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O laboratório remoto foi desenvolvido com eficiência utilizando planta de controle de velocidade e posição de motor de corrente contínua, sistema de aquisição de dados baseado em kit didático da National Instruments (ELVIS[®]) e um programa desenvolvido em LabVIEW[®]. A aplicação com acesso remoto foi realizada utilizando o aplicativo *WebServer* do LabVIEW[®] que pode ser configurado para limitar tempo de acesso de cada usuário, bem como gerenciar as requisições de acesso.

Por meio do WebLab é possível realizar ensaios em malha aberta modificando a entrada de controle (*Set Point*) para produzir alterações na velocidade ou posicionamento angular do motor. Também é possível efetuar a sintonia do controlador PID inserido em malha de controle por realimentação. A sintonia pode ser realizada em tempo real pelo usuário, utilizando a interface acessível na internet, onde é possível visualizar o comportamento dinâmico do sistema a partir de modificações dos parâmetros do controlador.

A aplicação desenvolvida foi utilizada como ferramenta interativa didática para estudo à distância, permitindo que os alunos do curso de pós-graduação em Engenharia de Controle e Automação Industrial pudessem avaliar, na prática, o aprendizado na área de engenharia de controles. Os resultados obtidos foram muito promissores, mostrando a viabilidade da utilização do laboratório remoto como ferramenta de ensino e avaliação de aprendizagem.

As principais características da solução desenvolvida são:

- interface intuitiva e de fácil manipulação pelo usuário com visualização das formas de onda do ensaio bem como da imagem capturada em tempo real;
- fácil configuração do *software* e produção da interface;
- permite realização de experimentos diversos e aplicações de vários conceitos de engenharia de controle.

Por outro lado, uma das principais desvantagens, é a necessidade de instalação de uma ferramenta do LabVIEW[®], que exigem um procedimento que pode ser relativamente demorado dependendo do computador utilizado e que, como consequência, pode ser desestimulante, principalmente para aqueles que têm pouco tempo para dedicar-se ao acesso ao experimento.

Espera-se que, este trabalho impulse outros projetos de pesquisa e experimentos remotos relacionados à robótica, controle de processos industriais e processamento de imagem. Em breve pretende-se acrescentar ao WebLab um processo multivariável de nível e temperatura e um sistema de pêndulo invertido, nos quais manter-se-á a característica de permitir o acesso e controle remoto do experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, W. O., COELHO, A. D., LIMA, F. R. G. Um Programa Didático para Ensino de Sistemas de Controle em Laboratório do Curso de Engenharia. **Anais: COBENGE 2008 – XXXVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**, São Paulo, 2008.

ASSIS, W. O., COELHO, A. D., PATANÉ, E. J., LIMA, F. R. G. A Data Acquisition System Used in Didactic Experiences on Control System for Engineering Courses. Proceedings of the 9th WCCE – IFIP World Conference on Computers in Education, Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2009.

CASINI, M., PRATTICHIZZO, D., VICINO, A., E-Learning by Remote Laboratories: A New Tool for Control Education. Preprints 6th IFAC Symposium on Advances in Control Education, Oulu, Finland, p. 95-100, June, 2003.

COELHO, P. R. S. L., SASSI, R. F., GUIMARÃES, E. G., CARDOZO, E., FAINA, L. F., LIMA, A. Z., Arquitetura e Requisitos de Rede para WebLabs. **Anais: 25° SBRC - Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, p. 499-512, 2007.

CRUZ, A. J. G., JESUS, C. D. F., GIORDANO, R. C., NASCIMENTO, C. A. O., ROUX, G. A. C. L., LOUREIRO, L. V., Experimento de Controle de Nível Operado Remotamente Via Internet: Projeto WebLab. **Anais: XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**, V. 1, p. 1-10, Campina Grande – PB, 2005.

CRUZ, A. J. G., LOURENÇO, A. A. B., JESUS, C. D. F., FERREIRA, D. S., STURLINI, D., GIORDANO, R. C., WebLabs em Engenharia Química: Desenvolvimento, Implementação e Operação Remota de Experimentos de Transferência de Massa Via Internet. **Anais: XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**, Vol. 1, p. 1-14, Passo Fundo, RS, 2006.

EWALD, H., PAGE, G. F., Performing Experiments by Remote Control Using the Internet. **Global Journal of Engineering Education**, Vol. 4 (3), p. 287-292, 2001.

GONZALEZ-CASTAN, O. F., ANIDO-RIFO, N. L., VALES-ALONSO, J., FERNANDEZ-IGLESIAS, M., NISTAL, M. L., RODRIGUES-HERNANDEZ, P., POUSADA-CARBALLO, J., Internet Access to Real Equipment at Computer Architecture Laboratories Using the Java/Corba Paradigm. **Computers & Education**, Vol. 36, p. 151-170, 2001.

HAHN, H. H., SPONG, M. W., Remote Laboratories for Control Education. Proceedings of the 39th IEEE Conference on Decision and Control, Sidney, Australia, p. 895-900, December, 2000.

JESUS, C. D. F., LOURENÇO, A. A. B., FERREIRA, D. S., STURLINI, D., GIORDANO, R. C., CRUZ, A. J. G., Integrating Chemical Engineering Education Via WebLabs. **Anais: XXII Interamerican Congress of Chemical Engineering**, Vol. 1, p. 1-18, 2006.

KHALIL, A., HASNA, M., BENAMMAR, M. CHAABANE, M., AMAR, C. B. Development of a Remote Lab for Electrical Engineering Program. **Anais: International Conference on Signals, Circuits and Systems**, Vol. 56, N. 12, December, 2009.

OGOT, M., ELLIOTT, G., GLUMAC, N., An Assessment of In-Person and Remotely Operated Laboratories. **Journal of Engineering Education**, Vol. 92(1), 2003.

OKAJIMA, H. S. S., LEDEL, L. C., FRAGNITO, H. L., ROCHA, H. V., WebLab Development Using a /DE9LHZ and-DYD Integrated Solution for Kyatera Network. **Anais: 3rd TIDIA FAPESP Workshop – Tecnologia da Informação no Desenvolvimento da Internet Avançada**, p. 204-206, São Paulo, Brazil, November, 2006.

A WEBLAB FOR CONTROL EDUCATION IN ENGINEERING COURSES

Abstract: *This paper presents the use of a remote access laboratory, a WebLab, with real equipments and systems that can be controlled remotely by the web. At the approach, the WebLab allows the development of multidisciplinary experiments in control and automation areas that can be used as a tool for engineering education and for research projects. This first WebLab includes an application that allows the remote access using a page on internet for drive control of a DC motor. Using this application the user can perform experiments as the open loop test in DC motor in order to obtain non-parametric system model and tuning of PID controller to ensure efficient speed and position motor control.*

Key-words: WebLab, engineering education, control systems, PID control.