



CRIANDO CENÁRIOS PRÁTICOS ALTERNATIVOS PARA O ENSINO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO: INTERFACE REMOTA PARA PLANTA DIDÁTICA MULTIPROCESSOS

Thiago Rodrigues Garcia – thiago.rgarcia@hotmail.com
Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima 1000
97105-900 – Santa Maria – RS

Gean Marciel Stein – gean.stein@hotmail.com
Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima 1000
97105-900 – Santa Maria – RS

Frederico M. Schaf – frederico.schaf@nte.ufsm.br
Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria
Av. Roraima 1000
97105-900 – Santa Maria – RS

Resumo: Neste artigo será apresentada uma proposta de implementação de um experimento remoto baseado em um planta didática multiprocessos que possibilita realizar diversos ensaios associados a sistemas de controle e automação de processos. A planta didática é composta por: sensores, para medir pressão, vazão e temperatura; atuadores, como, válvulas pneumáticas, aquecedor e resfriador e motobombas; controlador lógico programável; e tanques para armazenamento de líquido. Há naturalmente associado à planta didática um sistema supervisorio no qual se monitora e gerencia o processo, e no qual também pode-se parametrizar o ensaio. Este aplicativo do sistema supervisorio pode ser utilizado remotamente com o intuito de facilitar o aprendizado e expandir o acesso aos alunos e demais interessados através da Internet. Podem-se realizar quatro diferentes ensaios: controle de nível, temperatura, vazão e pressão. Este conjunto, planta didática e sistema supervisorio, é uma grande ferramenta, pois auxilia o ensino de áreas como controle de processos, instrumentação, programação de controladores lógicos, sistemas supervisorios entre outros. O presente artigo descreve o desenvolvimento desta implementação e apresenta alguns resultados de pesquisa preliminares que indicam um futuro promissor na aplicação no ensino de engenharia de controle e automação.

Palavras-chave: Planta didática, Experimentação remota, Sistemas supervisorios, sistemas de automação, Ensino de engenharia.

Realização:



Organização:





1. INTRODUÇÃO

Controle de processos é uma área da engenharia onde o ensino fica muito atrelado à teoria e com poucas simulações de fácil visualização e entendimento de um processo real. A planta didática multiprocessos permite uma clara visualização de um processo juntamente com simulações de distúrbios, ou seja, facilita também para que o usuário tenha uma melhor noção da precisão de seus modelos. Entretanto, plantas didáticas possuem custos altos de aquisição, instalação e manutenção. Estes custos muitas vezes não justificam a aquisição pela pouca utilização das plantas, já que muitas vezes o aluno não tem acesso direto ao experimento, que fica um local reservado para pesquisa. Pode-se destacar ainda que com o aumento de alunos nas universidades e outras instituições de ensino, cresce também a demanda de laboratórios. Por outro lado, a Internet é acessível a um número cada vez maior de alunos, proporciona novos meios e alternativas de educação, como o uso de laboratórios remotos.

O uso de experimentos (laboratórios) remotos pode ser caracterizado com uma alternativa para plantas reais, já que assim como as plantas reais apresentam perturbações, limites de controle e efeitos não lineares, e com o acesso remoto também possibilitam flexibilidade espacial, pois o aluno pode estar fora da instituição, e temporal, já que o experimento pode ser acessado a qualquer hora. Destas características pode-se dizer que os experimentos remotos são alternativas vantajosas em questão de custo, como afirma Cooper (2000); apresentam a segunda melhor alternativa (do inglês *Second Best of Being There*) educacional para o manuseio de experimentos, segundo Atkan (1996); e estão disponíveis a qualquer tempo e a qualquer lugar (do inglês *Anywhere, Anytime*) para o aprendizado, segundo Bourne et al. (2005).

Uma consequência do uso remoto da planta é a ausência do professor acompanhando o experimento, logo é necessária uma plataforma de ensino, na qual o aluno disponha de ferramentas que facilitem na compreensão do conteúdo e guiem-no ao longo da experiência.

Este trabalho visa mostrar a integração de um laboratório remoto a uma plataforma de ensino, detalhando a parte técnica da ligação do experimento com a Internet, a interface utilizada pelo usuário, como também a estrutura física da planta, assim como os ensaios nela realizados e as possibilidades de ensino.

Este artigo está dividido em cinco seções. A seção 2 tratará de assuntos ligados à planta como estrutura física e possibilidades de ensaios de controle. A seção 3 descreve o aplicativo criado para o sistema supervisorio da planta didática. Na seção 4 será descrito o desenvolvimento da infraestrutura para criação do experimento remoto com a planta didática. Na seção 5 serão apresentadas possibilidades de ensino e aprendizagem ligados à planta didática. Por fim, a seção 6 apresenta as conclusões obtidas com base nos resultados e perspectivas futuras de estudos que estão sendo realizados na planta.

2. A PLANTA DIDÁTICA MULTIPROCESSOS

A planta multiprocessos foi adquirida pela Universidade Federal de Santa Maria através da empresa Ferton, sendo que a mesma permitia que novas utilidades fossem acrescentadas. É constituída basicamente por quatro tanques, sendo um utilizado como reservatório de água e outros dois utilizados nos ensaios de nível e vazão, o quarto tanque serve como reservatório de ar para o ensaio de pressão. A planta possui também um trocador de calor, um controlador lógico programável (CLP), Fertron Citrino, sensores analógicos de pressão, vazão e



temperatura, transmissores eletrônicos de vazão, pressão, temperatura e nível, motobomba de 0,75 CV, inversor de frequência ABB, válvulas esfera e globo, pressostato, fluxostato e termostato. Este conjunto de dispositivos permite a planta realizar diversos ensaios que serão descritos mais detalhadamente no decorrer deste artigo.

A Figura 1 ilustra a estrutura física da planta didática presente no laboratório de engenharia de controle e automação na UFSM.



Figura 1. Planta Didática Multiprocessos.

2.1. Possibilidades de Ensaios

No momento, existem quatro ensaios configurados, que são: de nível, pressão, temperatura e vazão. Todos os processos como a abertura e fechamento de válvulas, acionamento da bomba através do inversor, controle PID entre outras funções são controlados através do programa no CLP, desenvolvido na linguagem de programação Ladder (compatível com a norma IEC 61131-3).

Ensaio de Pressão

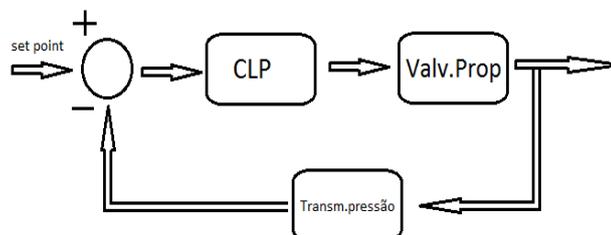


Figura 2. Diagrama de controle do ensaio de pressão da planta didática.

O usuário estabelece um valor (*setpoint*) de pressão (variável do processo) no supervisor e conforme o ar flui para o tanque 2, o controle é calculado (controlador PID) no CLP que atua sobre uma válvula de controle proporcional (variável manipulada) para que o ar



no tanque 2 chegue ao valor estabelecido. Os distúrbios são feitos através de uma válvula manual e/ou por uma válvula solenóide (esta pode ser acionada via supervisório). A Figura 2 mostra um diagrama de controle do processo.

Ensaio de Nível

O usuário estabelece um valor (*setpoint*) de nível (variável do processo) no supervisório e conforme a água escoar para o tanque 1, o controlador PID do CLP envia para o inversor de frequência (variável manipulada) sinais de controle e assim controla a rotação da motobomba. Os distúrbios são simulados manualmente por uma válvula globo e/ou via supervisório por uma válvula solenóide.

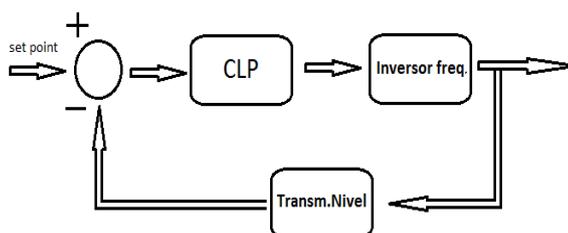


Figura 3. Diagrama de controle do ensaio de nível da planta didática.

Ensaio de Vazão

O usuário estabelece um valor (*setpoint*) de vazão (variável do processo) no supervisório e conforme a água flui, o controlador do CLP envia sinais de controle para um componente chamado posicionador (variável manipulada) que está acoplado na válvula controladora de fluxo e, assim, a mesma controla a vazão através da sua abertura e fechamento.

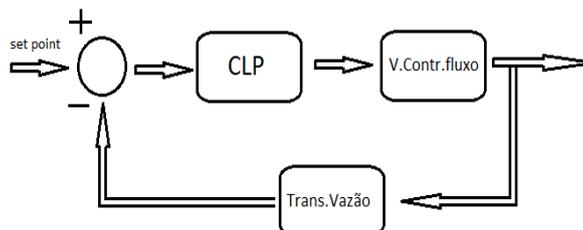


Figura 4. Diagrama de controle do ensaio de vazão da planta didática.

Ensaio de Temperatura

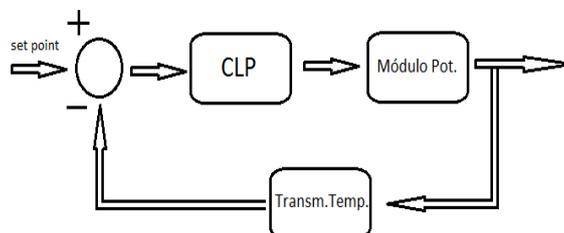


Figura 5. Diagrama de controle do ensaio de temperatura da planta didática.

O usuário estabelece um valor (*setpoint*) de temperatura (variável do processo) no supervisório para a água. A água entra no tanque 3 e, de acordo com a temperatura, o controlador PID do CLP envia sinais para um módulo de potência (variável manipulada) que controla a corrente de duas resistências acopladas no tanque 3. A água pode retornar direto



para o reservatório ou pode ser enviada para o resfriador, podendo ser controlada a temperatura de saída também determinada pelo usuário.

Os quatro ensaios podem ser realizados tanto em malha fechada com controle PID quanto em malha aberta, permitindo que o usuário possa analisar o comportamento do processo e fazer a modelagem.

3. O SISTEMA SUPERVISÓRIO

O aplicativo do sistema supervisório foi desenvolvido no software Indusoft Web Studio versão 6 (INDUSOFT, 2012). Este aplicativo é o responsável por fazer o interfaceamento com o CLP, e possibilita que o usuário tenha acesso as informações do estado da planta através dos medidores. É no supervisório que o usuário pode inserir parâmetros PID, selecionar ensaios, gerar relatórios e monitorar em geral o(s) processo(s). O sistema supervisório se comunica com o CLP através do protocolo industrial Modbus TCP o que é possível através do uso de um *driver* chamado de Mototcp e a infraestrutura de comunicação Ethernet (cabo UTP) entre o computador e o CLP. A Figura 6 ilustra a tela de supervisão do ensaio de pressão na planta didática.

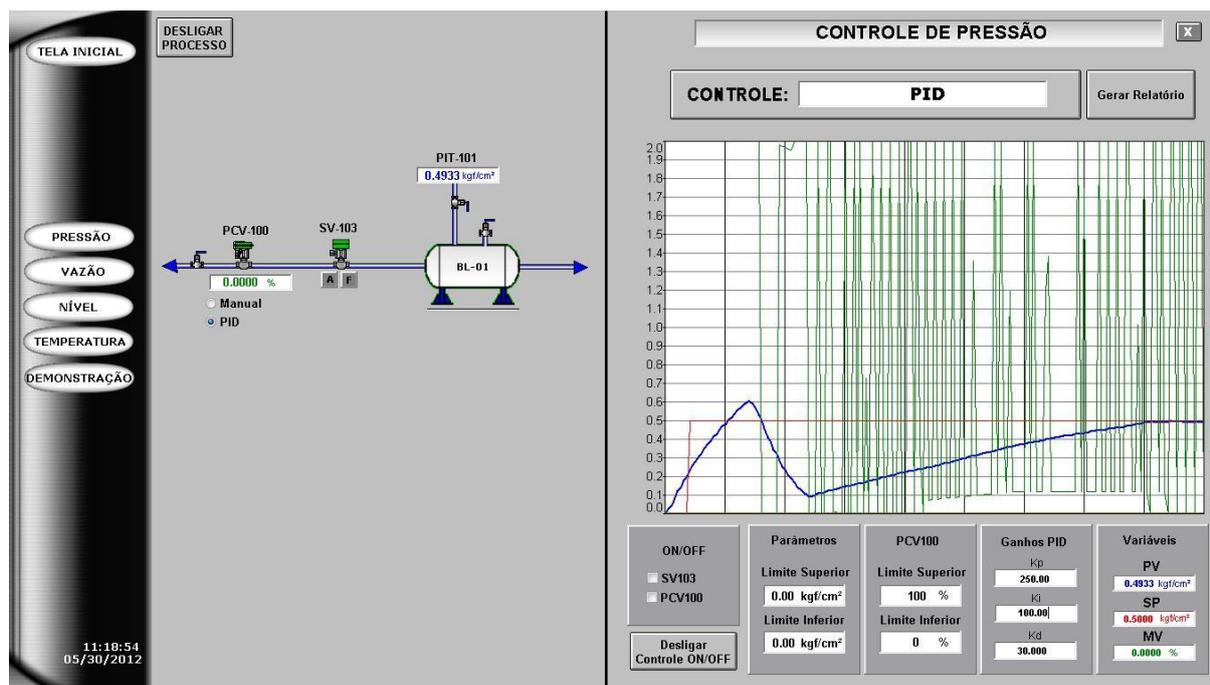


Figura 6. Tela de supervisão do ensaio de pressão da planta didática.

Nota-se a parametrização do controlador PID, assim como a visualização de diversas variáveis do processo (valores instantâneos e histórico representado no gráfico), assim como um diagrama simplificado do ensaio.

4. CRIAÇÃO DO EXPERIMENTO REMOTO

O software para criação de aplicativos supervisórios Indusoft Web Studio permite também que o *runtime* do aplicativo possa ser visualizado via interface Web, ou seja, a tela de visualização do processo (do sistema supervisório), pode ser visualizada com uma página da



Web. Desta forma um navegador Web também pode ser usado para visualização dos ensaios (veja Fig. 7), “disponibilizando” a interface dos ensaios na Web.

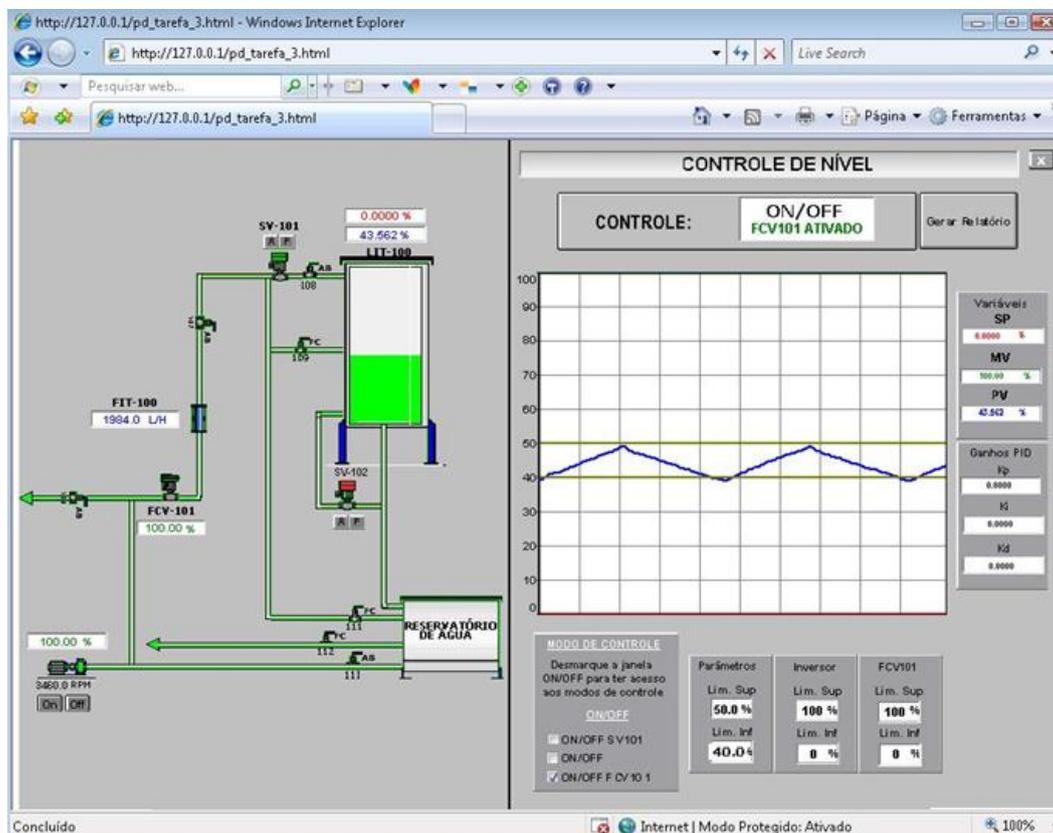


Figura 7. Tela de supervisão do ensaio de nível com controle ON/OFF da planta didática no navegador Web.

Esta adaptação do sistema supervisorio para visualização por navegadores Web é possível através da arquitetura de comunicação utilizada. Esta arquitetura é semelhante a apresentada por Schaf (2011). A Figura 8 apresenta um diagrama de blocos da infraestrutura de comunicação da planta didática multiprocessos.

O acesso remoto a esta interface Web do sistema supervisorio é alcançada fazendo com o que sistema supervisorio funcione em um computador que funcione também com servidor Web. Assim, qualquer usuário com acesso este servidor através do navegador Web, pode também visualizar o processo, mesmo não estando no laboratório. Esta configuração dá a possibilidade de tanto se visualizar quanto controlar os ensaios, ou seja, desta forma cria-se uma situação favorável para a criação de um experimento remoto. Esta configuração já é vastamente utilizada e foi implementada em uma planta didática semelhante descrita no trabalho de Eckhard e Schaf (2006).

O servidor Web utilizado é o Apache por ser seguro e também por ser um software livre. A comunicação entre as páginas Web e o supervisorio é realizada através de aplicativos com tecnologia ActiveX. Pelo lado do cliente é preciso um navegador com suporte a ActiveX (Microsoft). O aplicativo do sistema supervisorio além de gerar relatórios de ensaios também armazena dados dos ensaios em um banco de dados. O gerenciador de banco de dados utilizado foi o MySQL por sua estruturação e pela facilidade de configuração e vasta utilização.

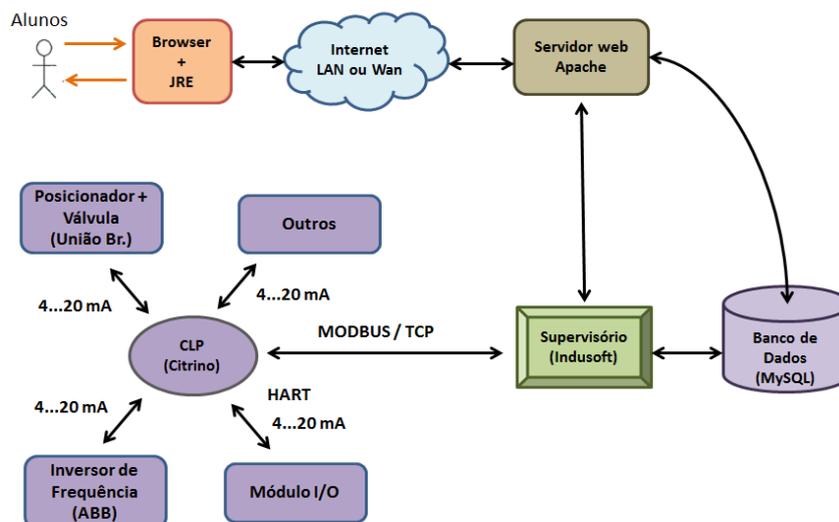


Figura 8. Diagrama de blocos da arquitetura da planta.

5. POSSIBILIDADES DE ENSINO-APRENDIZAGEM

A utilização de laboratórios produz frequentemente diferenças entre resultados teóricos e resultados experimentais (implementação prática). Apesar de este aspecto levar, muitas vezes, os alunos à formulação do mito de que “a teoria na prática não funciona”, é importante frisar que a teoria, se bem aplicada, funciona resolvendo problemas do mundo real. Portanto, para se utilizarem tanto laboratórios remotos (reais) como simulações, é necessário demonstrar as diferenças entre as abstrações (modelos), os equipamentos reais e seus respectivos comportamentos em materiais educacionais.

A integração dos experimentos remotos (tanto reais quanto virtuais) com elementos educacionais interativos (tutoriais, exemplos e links) é simplificada, visto que o ambiente do experimento remoto já possui uma interface Web. O compartilhamento de equipamentos caros por diferentes grupos e instituições, usando implementações com tecnologias de Internet amplamente disponíveis e por custos baixos, é outra grande vantagem.

Todas as tecnologias empregadas no ensino levam a um custo alto por estudante, que deve ser analisado cuidadosamente pela instituição de ensino, restringindo, assim, o número de entidades que podem arcar com este investimento. Autores como Atkan (ATKAN, 1996) afirmam que, embora os investimentos sejam altos, a utilização de laboratórios remotos para ensino se torna muito mais atrativa economicamente.

A integração de experimentos remotos com AVEA (Ambiente Virtual de Ensino e Aprendizagem) - com material de aprendizagem devidamente organizado - é altamente recomendável para aumentar o valor educacional (*educational added value*) segundo Gomes e Zubia (2007) dos experimentos. Portanto, é preciso desenvolver materiais e treinar tutores para que o aprendizado seja eficiente e de qualidade. Os mecanismos de aprendizagem (*learning engines*), chamados assim na comunidade científica, podem ser integrados a experiências remotas e virtuais. Mecanismos de aprendizagem propiciam aos alunos tanto materiais educacionais quanto guias para estudo. Esses mecanismos ainda não são utilizados em larga escala nas instituições de ensino, mas há um crescente das universidades em difundirlos como reforço às aulas tradicionais (COOPER et al., 2002).



Utilizações de AVEA flexibilizam cursos e tornam mais dinâmicas e estimulantes as práticas de aprendizagem autodidáticas e colaborativas (entre alunos). Esses mecanismos não possuem ainda nenhuma forma de avaliar o que o aluno aprendeu. Como qualquer tecnologia empregada no ensino é muito difícil determinar uma melhora no aprendizado (STAHL et al., 2006), embora sempre se fique com a sensação de motivação extra dos estudantes quando alternativas ao ensino tradicional são buscadas.

O AVEA atualmente mais utilizado é o MOODLE (DOUGIAMAS; TAYLOR, 2003). Este AVEA é um software de domínio público e código aberto, amplamente utilizado como plataforma de ensino. Sua interface intuitiva, a possibilidade de customização e a fácil incorporação de recursos adicionais, dado que utiliza PHP e MySQL como banco de dados, foram pontos chave para escolha de integração com os experimentos desenvolvidos. Além do que, já se mostrou eficiente em experimentos similares como o RExNet (ALVES et al., 2005). Outro ponto forte deste software é sua filosofia de aprendizado baseada numa pedagogia construcionista social. No MOODLE, os alunos podem acessar materiais didáticos, participar de fóruns e esclarecer dúvidas com o professor ou entre os próprios alunos.

Antes do acesso do aluno ao experimento remoto é necessário que este esteja familiarizado com os dispositivos tanto da planta a ser controlada como da interface de controle, para isso são disponibilizados tutoriais referentes ao experimento e sua correta utilização. Não somente tutoriais são oferecidos aos alunos no MOODLE, mas também materiais complementares as disciplinas presenciais do curso de Engenharia de Controle e Automação, as quais dão base para o aluno utilizar ao máximo as ferramentas oferecidas, bem como sanar dúvidas à respeito do conteúdo.

Como já citado anteriormente, a planta permite a interdisciplinaridade com outros ramos da engenharia. Por ser composta com vários dispositivos utilizados na indústria, como, por exemplo, transmissores, poder ser utilizada como objeto de estudo em disciplinas como instrumentação industrial, acionamentos elétricos e, principalmente, controle de sistemas. Essa interdisciplinaridade é interessante, pois facilita o aprendizado e a consolidação de conteúdos na prática, permitindo ao aluno uma boa visão de um processo real.

A integração com ferramentas Web possibilita ainda a criação de analisadores de experimento, com feedback imediato do resultado do experimento. Isto ajuda em muito os estudantes uma vez que estes não recebem um indicador e um apoio imediato ao ensaio realizado. A fim de saber os resultados do experimento, um analisador foi integrado ao ambiente MOODLE. O analisador consiste em um código PHP que lê o banco de dados do experimento e retorna as métricas de controle desejadas através de cálculos, métricas essas referentes ao resultado do controlador PID feito pelo aluno.

Como também é possível a escrita no banco de dados através do PHP, dando acesso a resposta do analisador ao MOODLE, podemos usar este como um guia, a fim de apontar falhas do controlador PID projetado pelo aluno em relação ao que foi proposto pelo professor. Indo além, uma relação de materiais e exemplos que podem ajudar o aluno no entendimento do conteúdo é indicado, caso o projeto não atenda as especificações.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A planta se encontra em funcionamento e sempre sendo estudados novos aprimoramentos como a interconexão entre as duas plantas e permitir que outras universidades possam acessá-las remotamente. Com isso, a mesma irá colaborar para o ensino de outras instituições e como consequência de um maior número de alunos e professores.



Como trabalhos futuros deseja-se intercomunicar as duas plantas e novos componentes para realizar lógicas mais complexas e assim aproximar mais a simulação da realidade. Deseja-se também desenvolver um supervisor em outra plataforma a fim de analisar características de comunicação e também aplicar em outros softwares, como o MATLAB, os dados obtidos e analisar mais detalhadamente o sistema de controle.

Os scripts em PHP que são processados no servidor fazem a conexão das páginas Web com o banco de dados MySQL, com isso é possível visualizar os ensaios. Desta forma o cliente pode ser referido como thin-client, pois não há necessidade de instalação adicional de software no cliente para interação com o experimento (FERREIRA et al., 2002).

Agradecimentos

Agradecemos ao curso de engenharia de controle e automação por permitir a implementação de novas ferramentas na planta multiprocessos, aos responsáveis técnicos do laboratório – Paulo e Diego - por oferecer todo suporte e ajuda ao Fundo de Incentivo a Pesquisa (FIPE) e também a demais colegas e pessoas que nos proporcionaram incentivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, G. R. et al. E. Remote Experimentation Network Yielding an Inter-University Peer-to-Peer e-Service. **Anais:** IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFAs), Catania, Italy, p.1023–1030, 2005.
- ATKAN, B.; BOHUS, C. A.; CROWL, L. A.; SHOR, M. H. Distance Learning Applied to Control Engineering Laboratories. IEEE Transactions on Education, v. 39, p. 320–326, 1996.
- BOURNE, J.; HARRIS, D. A.; MAYADAS, F. Online Engineering Education: Learning anywhere, anytime, Journal of Engineering Education, v. 94, n. 1, 2005.
- COOPER, M. et al. Remote Controlled Experiments for Teaching over the Internet: Comparison of approaches developed in PEARL Project. **Anais:** Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education (ASCILITE), Auckland, Austrália, 2002.
- COOPER, M. The challenge of practical work in a eUniversity - real, virtual and remote experiments. **Anais:** Information Society Technologies (IST), Nice, França, 2000.
- DOUGIAMAS, M.; TAYLOR, P. MOODLE: using learning communities to create an open source course management system. **Anais:** World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications, Chesapeake, Australia, p.171–178, 2003.
- ECKHART, D.; SCHAF, F. M.; SILVA, J. M. G. da; Uma Plataforma de Experimentação Remota para Ensino de Controle. **Anais:** XVI – Congresso Brasileiro de Automática. Salvador : UFBA, 2006.
- FERREIRA, J. M. M. et al.. The PEARL Digital Electronics Lab: Full Access to the Workbench via the Web. **Anais:** Annual Conference on Innovations in Education for Electrical and Information Engineering (EAEEIA), York, Inglaterra, 2002.
- GOMES, L.; ZUBÍA, J. G. Advances on Remote Laboratories and e-Learning Experiences. Bilbao: University of Deusto, v. 6, 2007, 350 p.



INDUSOFT. **Indusoft Web Studio Software.** Disponível em: <<http://www.indusoft.com>> Acesso em: 09 mar. 2012.

SCHAF, F. M. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Escola de Engenharia. Arquitetura para Ambiente de Ensino de Controle e Automação Utilizando Experimentos Remotos de Realidade Mista, 2006. 207p, il. Dissertação (Mestrado).

STAHL, G. et al. The Cambridge Handbook of the Learning Sciences. Cambridge, UK: Cambridge University Press, p.209 - 452, 2006.



CREATING ALTERNATIVE PRACTICAL SCENARIOS FOR CONTROL AND AUTOMATION ENGINEERING EDUCATION: REMOTE INTERFACE TO MULTI-PROCESS DIDACTICAL PLANT

Abstract: *This article presents a implementation proposal to remote experimentation based on a multi-process didactical plant that offers several trials associated with control and automation engineering principles. This didactical plant is composed of sensors to measure pressure, flow rate and temperature; actuators, like: pneumatic valves, heaters, coolers and motor drives; programmable logical controller; and liquid tanks to water storage. There is, naturally a supervisory system to monitor and manage the process, and which can parameterize the trial. This supervisory application can be used remotely via Internet in order to expand the access to the experiment. Four different control trials can be performed: level, temperature, pressure and flow. This integration, plant and supervisory control is of great educational value since concepts of industrial instrumentation, control logic programming, control theory, automation systems are involved and can enhance technical practice. This work describes the development and use of this “tools” and presents some study results and indicate the promising future of this educational technology applied to control and automation engineering.*

Keywords: *Didactical plant, Remote experimentation, Supervisory systems, Automation systems, Engineering education.*