

LABORATÓRIO DE ENSINO DE AUTOMAÇÃO REMOTO DA UnB

Alfredo Américo de Freitas - alfredoamerico@freitas.eng.br

Adolfo Bauchspiess - adolfobs@ene.unb.br

Geovany Araújo Borges - gaborges@ene.unb.br

Laboratório de Automação, Visão e Sistemas Inteligentes - <http://www.lavsi.ene.unb.br>

Grupo de Instrumentação, Controle e Automação

Departamento de Engenharia Elétrica

Universidade de Brasília

70910-970 Brasília – DF

Resumo: *Este artigo apresenta o Laboratório de Ensino de Automação Remoto (LEARn-UnB) que é utilizado como ferramenta de ensino de controle e automação para estudantes de Engenharia Elétrica e de Engenharia Mecatrônica da Universidade de Brasília. A opção pela experimentação remota considerou a conveniência do compartilhamento de experimentos com outras universidades, o compartilhamento de experimentos com a mesma infra-estrutura de software e a necessidade de atender aproximadamente 60 alunos em cada semestre. Os experimentos atualmente oferecidos são: linearização experimental em ponto de operação, projeto PID, compensador em avanço-atraso e espaço de estados. Estes experimentos são realizados em um processo de nível de líquidos que pode ser configurado como planta não-linear de 1ª, 2ª ou 3ª ordem. Os projetos de controle oferecidos aos alunos são muito importantes para a fixação dos conceitos teóricos de controle dinâmico, uma vez que ruídos, dinâmica não modelada e saturação, sempre presentes em sistemas reais, devem ser convenientemente interpretados pelos alunos. Este aspecto “presencial” distingue o LEARn de diversos laboratórios virtuais disponíveis na Internet, onde apenas equações diferenciais “ideais” são simuladas. No LEARn-UnB um servidor Web controla o acesso, a execução e os resultados dos experimentos que também são armazenados em um banco de dados, possibilitando uma posterior análise, verificação e acompanhamento do uso e dos resultados pelos professores e monitores. Neste trabalho além da infra-estrutura do laboratório também são apresentados resultados e análise do uso do laboratório pelos alunos de controle dinâmico da UnB, obtidos por meio de questionários específicos.*

Palavras-Chave: *Laboratório Remoto, Banco de Dados, Controle Dinâmico, Internet, Processo de Nível de Líquido.*

Número Cobenge 2004: 442

1. INTRODUÇÃO

O interesse por aplicações distribuídas na Internet aumentou consideravelmente nos últimos anos. Laboratórios remotos tornaram-se viáveis, de fato, através da Internet (Zeilmann, 2001), (Guimarães et al., 2002), (Vicino et al., 2003). Estes têm sido usados como ferramentas de apoio a disciplinas teóricas. Assim, o uso de laboratórios remotos em disciplinas curriculares deve ser feito de maneira a se controlar e identificar todos os

usuários e seus respectivos experimentos. Isso permite uma avaliação mais próxima da que se conseguiria em um laboratório presencial. A experimentação remota tem a vantagem de oferecer ao usuário situações e fenômenos que são difíceis ou impossíveis de simular, permite, também, lidar com problemas e características exclusivas dos sistemas reais – e.g., não-linearidades e variância temporal - e, através delas, adquirir experiência em situações de utilidade prática e profissional. Além do mais, no dia-a-dia do engenheiro que trabalha na indústria, o contato com processos mais complexos se faz à distância, através de uma interface homem-máquina.

O ensino a distância tradicional pode ser complementado com o uso de laboratórios remotos. Aplicações como as do LEARN-UnB (Laboratório de Ensino de Automação Remoto da UnB) (Freitas, 2003), são consideradas altamente eficientes do ponto de vista educacional, pois oferecem níveis elevados de interação com o usuário. Recursos de tempo real, como *streaming* de vídeo, áudio, dados e resposta gráfica do sistema são utilizados para proporcionar maior interatividade ao sistema. No atual contexto do experimento, tais elementos encontram-se disponíveis para o usuário remoto, permitindo que o mesmo obtenha resultados bastante semelhantes àqueles obtidos nos laboratórios convencionais, com exceção, é claro, aos produzidos por contato físico com o sistema.

O uso de experimentos e laboratórios remotos no mundo encontra-se em pleno crescimento. Atualmente, há uma enorme quantidade de experimentos remotos disponíveis em universidades e laboratórios de pesquisa de diversos países (Vicino et al., 2003), (Röring e Jochheim, 1999). Tal fato, além de comprovar o crescimento da utilização das técnicas de experimentação remota, serve como ferramenta de apoio ao ensino dos mais diversos assuntos ao redor do mundo. Isto porque, em sua grande maioria, tais experimentos estão disponíveis para utilização por qualquer usuário conectado à Internet, independente de sua nacionalidade, de vínculos universitários e institucionais, ou mesmo de interesses no tópico abordado pelo experimento.

Dentre as vantagens da utilização da experimentação remota em relação à experimentação presencial podemos destacar:

- A não necessidade da presença de técnicos ou professores durante a execução;
- A maior disponibilidade, o experimento está acessível 24h, sem interrupções;
- O armazenamento de resultados possibilitando análise posterior;
- A facilidade de comprovação dos resultados pelos professores.

O sistema de experimentação remota descrito neste artigo utiliza a *World Wide Web* como plataforma de comunicação e o *Web Browser* como sua interface cliente. A Internet provê a plataforma para transmissão de informações, enquanto o *Browser* é o ambiente para execução do software cliente. Na experimentação remota, um servidor serve de intermediário entre o cliente e o experimento. Nessa configuração, um sistema gerenciador de banco de dados é a opção viável e necessária em projetos como o do LEARN da Universidade de Brasília (LEARN-UnB).

2. AMBIENTE COMPUTACIONAL LEARN-UnB

Um laboratório remoto necessita de um ambiente computacional com servidor web, registro de execução de experimentos, supervisor de experimentos e interface com o usuário. Neste contexto para implantação do LEARN era necessário um Servidor *Web*, um Sistema Gerenciador de Banco de Dados, uma padronização de Supervisor e de comunicação com os processos disponibilizados.

Após o estudo de vários produtos o LEARn-UnB atualmente possui uma ambiente computacional composto por um banco de dados FireBird, supervisórios de experimentos baseados na tecnologia Java, servidor WEB Apache TomCat e páginas WEB desenvolvidas utilizando tecnologias de terceira geração de Internet, com padrões de projetos reconhecidos internacionalmente, possibilidade de internacionalização, portabilidade e um forte uso de tecnologias desenvolvidas pelo Grupo Apache (Freitas 2003). O Conjunto de aplicativos usado no LEARn-UnB tem como base sistema gratuitos, de código aberto e reconhecimento mundial, com alta portabilidade entre sistemas operacionais, aumentando ainda mais a qualidade do LEARn-UnB e criando um ambiente barato e de qualidade para a experimentação remota.

2.1. A escolha do Servidor Web

Os principais requisitos do Servidor *Web* a ser implantado no LEARn eram: baixo custo, documentação, suporte facilitado, alta performance e baixos requisitos de hardware. Dentre os Servidores Web analisados temos o IIS da Microsoft, Sun One e Apache TomCat, dentre as linguagens de programação foram analisadas PHP, ASP, ASP NET, C#, Cold Fusion e JSP/Servlets, sendo que a escolha da linguagem de programação também limita a escolha do servidor. O produto da SUN possui altos requisitos de hardware e alto custo, o servidor da Microsoft possui alto custo de softwares além de ser dependente de outros produtos da empresa.

A linguagem de programação escolhida para confecção das páginas foi a especificações JSP/Servlets da linguagem Java. Os principais motivos para escolha foram: pré-compilação do código em *bytecode* que propicia uma maior performance, possui várias *frameworks* e padrões de projetos consagrados mundialmente, facilita o desenvolvimento independente das camadas da aplicação¹,

O Servidor *Web* escolhido foi o Apache TomCat, que além de preencher todos os requisitos possuía as seguintes vantagens:

- É reconhecido pela SUN como uma referência na implementação das especificações J2EE (JS/Servlets), além de ser mantido pelo grupo Apache, que possui vários outros projetos que também podem ser usados na infra-estrutura do laboratório;
- Disponível em várias plataformas: Windows, Linux, UNIX, MAC-OS e outros;
- Evolução constante e com poucas incidências de *bugs* e falhas de segurança;
- Pode ser usado como módulo de outros Servidores *Web* como o Apache e o IIS em ambiente que utilizam várias linguagens, neste caso funciona como contêiner JSP/Servlet.

2.2. A escolha do Sistema Gerenciador de Banco de Dados

O Sistema Gerenciador de Banco de Dados do LEARn-UnB deveria possuir as seguintes características: capacidade armazenamento em grande quantidade, já que os resultados de uma execução são superiores a 130KB, velocidade de armazenamento e recuperação de informações, implementação da especificação ANSI-SQL-99, alta performance e baixos requisitos de hardware. Os produtos analisados foram Oracle,

¹ No LEARn o padrão em uso é o MVC, *model view controller*.

Microsoft SQL-Server, FireBird, Interbase, PostgreSQL e MySQL. Dentre os analisados o escolhido foi o FireBird, que apresenta além dos requisitos as seguintes características:

- Integridade Referencial Declarativa (DRI em inglês), PostgreSQL e MySQL não possuem esta característica que aumenta a robustez e confiabilidade.
- Procedimentos Armazenados (*Stored Procedures*), Visões(*Views*) e Gatilhos(*Triggers*) de Banco, o MySQL não possui estas funcionalidades;
- Linguagem de programação robusta e simples, semelhante ao Pascal;
- Gratuito e de código aberto, o Oracle, o SQL-Server e Interbase (versões 6.5 e 7.0) possuem custos de licenciamento e uso restrito;
- Disponível em várias plataformas: Windows, Linux, UNIX, MAC-OS e outros, o SQL-Server somente possui versão para Windows;
- Forte uso de *threads* e compartilhamento de memória, recurso que aumenta a performance principalmente em aplicações *Web* e diminui o uso de memória *RAM*. Estes recursos não estão disponíveis no PostgreSQL.

Os produtos Oracle e SQL-Server requerem hardware de alto custo e juntamente com o InterBase possuem custo de licenciamento e uso. No PostgreSQL as maiores desvantagens são: não possui versão com possibilidade de memória compartilhada entre as conexões, funciona precariamente em Windows, já que necessita do emulador de UNIX *sigwin* e a falta de integridade referencial declarativa, vale lembrar que a integridade referencial realizada somente por trigger. O MySQL por não possuir requisitos mínimos de um bom sistema gerenciador de banco de dados foi descartado apesar de sua velocidade e forte uso em aplicações *Web* atualmente.

2.3. Modelo de comunicação entre Servidor *Web* e processo físico do LEARN-UnB

O servidor WEB do LEARN-UnB faz a integração entre o usuário remoto e os experimento do LEARN-UnB. Os usuários remotos conectam-se com o servidor WEB e este conecta-se aos experimentos disponíveis. O servidor WEB utiliza a Internet para conectar aos usuários remotos e um barramento no laboratório para comunicar-se com o experimento desejado pelo usuário, como mostra a Figura 1.

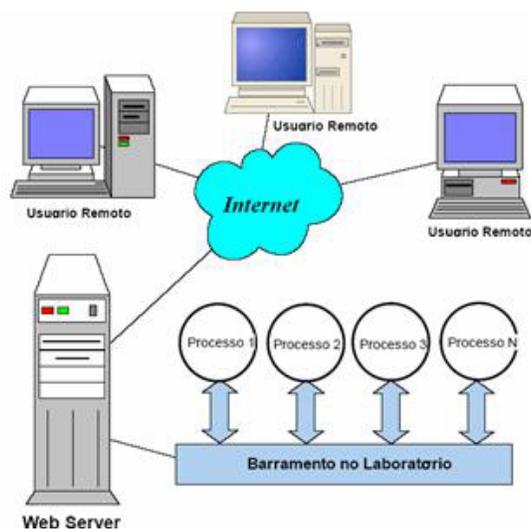


Figura 1 - Arquitetura de Comunicação do Servidor WEB

Além da comunicação via http entre o servidor e o usuário remoto outra comunicação é estabelecida para troca de dados dos experimentos entre o usuário é o servidor WEB, esta é realizada via TCP sockets, comunicação . No servidor roda um aplicativo servidor de dados escrito em Java e no cliente um Java Applet, aplicativo supervisorio, que conecta ao aplicativo do servidor e apresenta os dados on-line de forma gráfica.

A comunicação entre o computador Servidor e o de Controle de Processos é realizada por duas maneiras implementadas no LEARN-UnB, *RAM Driver*(GUIMARÃES 2002) ou barramento RS-232C (SOUSA 2003). Atualmente somente via *RAM Driver* está sendo aplicado na disciplina Controle Dinâmico. Esta comunicação baseia-se em arquivos compartilhados no Servidor que são acessados pelo executivo de tempo real que roda em um microcomputador ou microcontrolador dedicado de controle do processo físico. Neste caso através de arquivos de controle e de resultados os computadores trocam informações como mostra a Figura 2. A comunicação utilizando RS-232 ocorre entre o servidor e um microcontrolador, como os da série Microchip PIC. Neste contexto o controle de tempo real (c.f., Figura 2) pode ser um microcomputador ou microcontrolador.

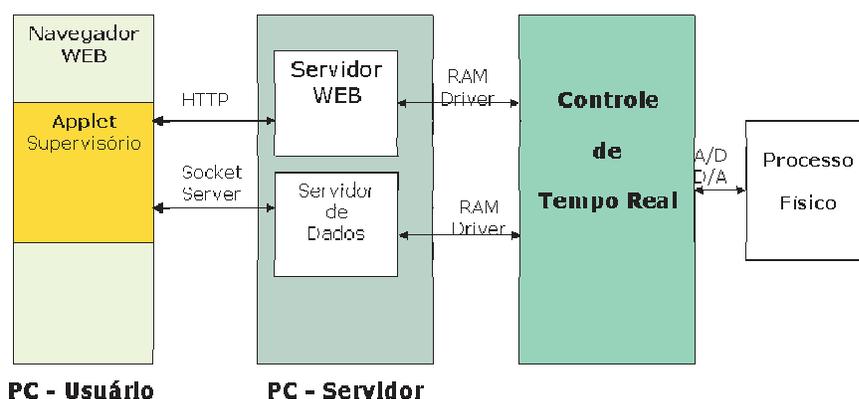


Figura 2 - Comunicação Com o Experimento

2.4. O modelo de supervisórios do LEARN-UnB

O Sistema Supervisorio tem como objetivo mostrar os resultados de experimentos de um experimento remoto, utilizando um Applet Java e páginas WEB. A tecnologia Java Applet foi escolhida porque permite a troca de informações entre o servidor e o cliente web em tempo real (FREITAS 2003), outras tecnologias foram estudadas para implementação deste supervisorio como Macromedia Flash e ActiveX, porém como toda parte *web* estava sendo desenvolvida em Java optou-se por esta tecnologia também para os supervisórios.

O supervisorio, Figura 3, é composto por uma parte em páginas WEB, parte em fundo branco da figura, que envia os parâmetros de controle desejados para o processo, via aplicativo no servidor, e o applet especializado na apresentação dos resultados on-line. O applet além de apresentar o resultado realiza também o início e o término do experimento.

No LEARN-UnB o supervisorio, Figura 3, inicia a comunicação, via TCP/IP, com um sistema servidor de dados que roda constantemente no computador servidor. Assim, temos uma conexão para troca de informações entre servidor e cliente. O applet envia comandos de início e término, enquanto o servidor envia resultados on-line do experimento, como mostra a Figura 2.

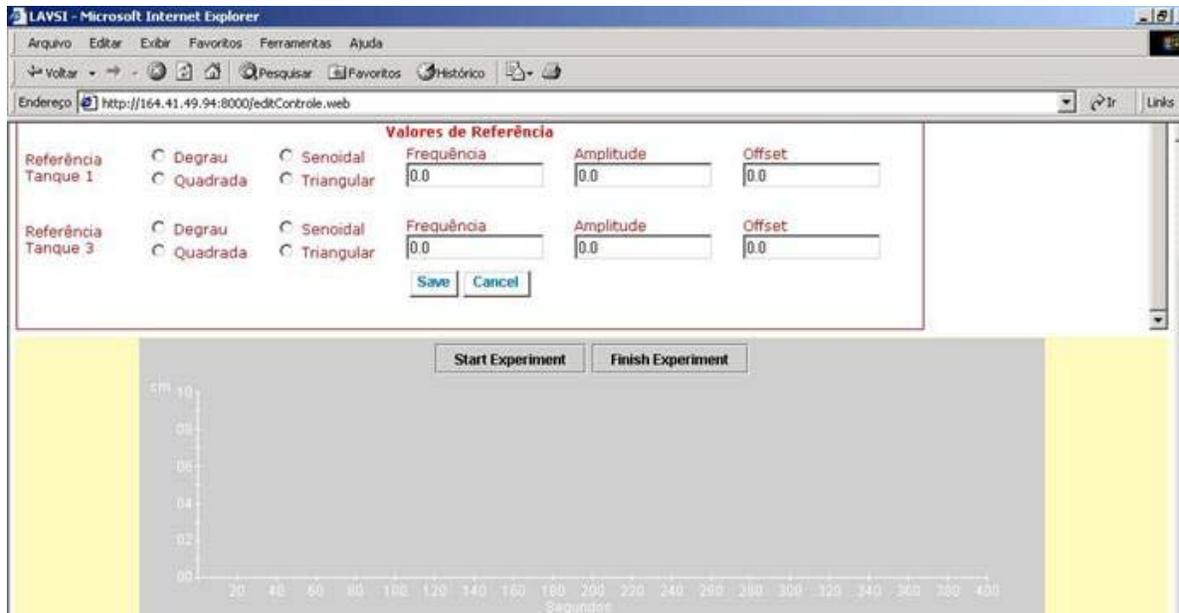


Figura 3 - Supervisório do LEARN-UnB

3. O BANCO DE DADOS DO LEARN-UnB

A utilização de um Sistema Gerenciador de Base de Dados (SGDB) possibilita a recuperação e análise de informações de maneira rápida e fácil, através de interfaces *web* ou ferramentas de administração para confecção de relatórios (FREITAS 2003).

O banco de dados do LEARN-UnB fornece uma maneira de análise e validação dos dados por um professor ou monitor. A partir dos dados, também, pode-se extrair várias informações estatísticas como: uso por dia, grupo, tentativas de acesso, experimentos abandonados pelos alunos dentre outras. Além de informações de uso também possui a possibilidade de detecção de falha no serviço de supervisório ou de controle de tempo real e possibilidade de verificação dos resultados obtidos das experiências.

O principal objetivo da base de dados do LEARN-UnB é controlar o uso dos experimentos pelos alunos e fornecer um conjunto de acesso diferenciado por grupos de usuários, como professores, alunos e membros do laboratório, ver Figura 4.

A partir do Modelo Conceitual do LEARN-UnB (c.f., Figura 4) obteve-se o Modelo de Entidade Relacional em uso do LEARN-UnB que possui várias tabelas, visões e procedimentos armazenados compondo o banco de dados. A partir da necessidade conceito pode-se verificar que o banco de do LEARN-UnB possui dois principais grupos de ações, um primeiro grupo para gerenciamento de usuários e acessos e outro para gerenciamento de execuções de experimentos.

Na parte de gerenciamento de acesso deve-se armazenar áreas e funcionalidade restritas do site, bem como quais grupos podem acessar tais áreas e os limites desde acesso. Exemplo: o grupo de alunos de controle dinâmico do 1º semestres de 2004 pode realizar o experimento de nível de líquidos por tempo indeterminado, bem como acessar páginas com roteiro e ajuda sobre este experimento. Na parte do banco de dados que gerencia execuções

possibilita validação e verificação de resultados de experimentos realizados pelos alunos, como análise e comparações dos dados dos relatórios e do banco.

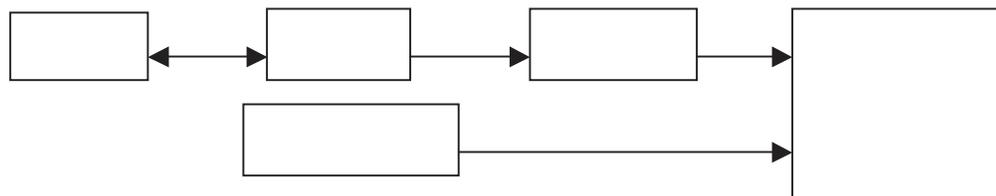


Figura 4 - Modelo Conceitual do LEARN-UnB

4. OS EXPERIMENTOS NO LEARN-UnB

Atualmente o LEARN-UnB disponibiliza os seguintes experimentos baseados no controle de nível de líquidos (c.f., Figura 5), para a disciplina Controle Dinâmico:

- Linearização experimental em ponto de operação;
- Projeto de controladores PI e PID usando o lugar geométrico das raízes;
- Projeto de compensadores de avanço de fase no domínio da frequência;
- Projeto de controladores no espaço de estados (sistema de 2ª ordem).

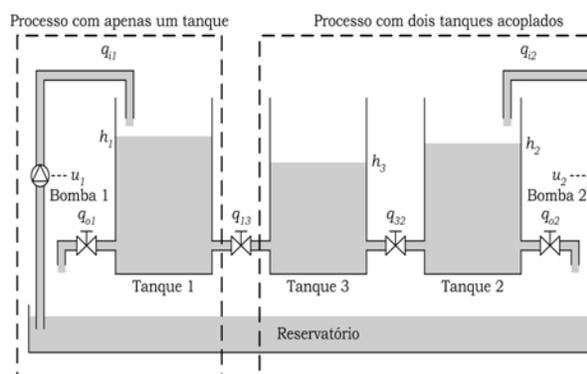


Figura 5 – (a) Sistema de nível de líquidos (b) Configuração do processo como dois sistemas

O sistema de nível de líquidos pode ser considerado como dois subsistemas de uma entrada e uma saída (SISO), um de primeira ordem e outro de segunda ordem. O nível do Tanque 1 é utilizado como variável de saída para um sistema de primeira ordem, a variável de entrada deste sistema é a vazão da Bomba 1, q_{i1} . A altura do Tanque 3 é utilizada como variável de saída para um sistema de segunda ordem, a variável de entrada deste sistema é a vazão da Bomba 2, q_{i2} . Esta configuração ocorre quando a válvula que liga o Tanque 1 ao Tanque 3 encontra-se fechada, como ilustrado na Figura 5-(b).

4.1. Linearização experimental em ponto de operação

Este experimento visa a familiarização, por parte do aluno, do funcionamento do laboratório remoto de controle nível de líquidos, bem como a utilização de dados

experimentais para a linearização de sistemas reais de controle. O aluno deve também obter as funções de transferência dos subsistemas de primeira e segunda ordem.

4.2. Projeto de controladores PI e PID usando o lugar geométrico das raízes

O Lugar Geométrico das Raízes (LGR) é uma ferramenta de síntese de controladores que permite visualizar a posição dos pólos em malha fechada em função da variação do ganho. Assim, para uma especificação no domínio do tempo (e.g., tempo de acomodação, t_a e sobre-sinal, M_p) tem-se a correspondente posição dos pólos em função de parâmetros (σ e ζ , conforme a Figura 7(b)).

Nesta experiência, o aluno deve projetar um controlador PI conforme especificações de projeto, de modo que o sistema de nível de líquido opere em torno de um nível médio e levando em consideração a saturação do atuador. A Figura 7(c), ilustra um projeto típico. Os pontos indicados por “x” representam a posição dos pólos em malha fechada, representando um sistema bem mais rápido que em malha aberta.

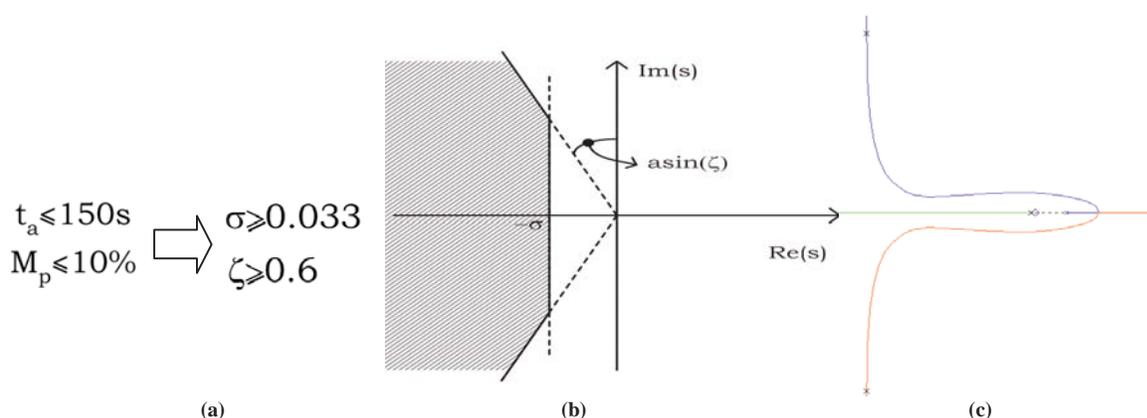


Figura 6 – (a)Especificações (b) Região no plano-s dos pólos em malha fechada correspondente à especificação dinâmica, (c) LGR do subsistema de 2ª ordem – Controle PI

4.3. Projeto de compensadores de avanço de fase no domínio da frequência

Este experimento tem como objetivo a aplicação prática do controle no domínio da frequência. O aluno deverá obter e analisar o Diagrama de Bode do sistema de nível de líquido para a operação em torno de um nível médio e considerando a saturação do atuador. Com base nestes dados, o aluno deve projetar um controlador de avanço de modo a atender às especificações de desempenho desejadas. O aluno deve obter as funções de transferência dos subsistemas de primeira e segunda ordem através de um experimento de excitação senoidal.

4.4. Projeto de controladores no espaço de estados (sistema de 2ª ordem).

O controle no espaço de estados de sistemas SISO faz parte do estudo de disciplinas curriculares de Engenharia Mecatrônica e Engenharia Elétrica. O LEARN-UnB proporciona ao aluno um experimento com este tipo de controle visando a aplicação prática dos estudos teóricos dos alunos.

A grande vantagem do controle SISO no espaço de estados em relação a métodos de transformada é que aquele utiliza os estados intermediários para determinar o sinal do atuador. Este experimento tem como principal vantagem ser a única maneira atualmente em uso na universidade de projeto prático de controladores no espaço de estados.

5. UTILIZAÇÃO DO LEARN-UnB PELO LABORATÓRIO DE CONTROLE DINÂMICO – 2º SEMESTRE DE 2003

O LEARN-UnB disponibilizou durante o segundo semestre de 2003 experimentos para todas as turmas de laboratório de Controle de Dinâmico da Universidade de Brasília. Duas experiências foram disponibilizadas: Linearização em Ponto de Operação e Projeto de Controlador no LGR.

Os dados apresentados neste trabalho são relativos ao período de 29 de outubro a 13 de dezembro de 2003. Somente execuções bem sucedidas foram consideradas, não sendo levadas em conta as tentativas de acesso. Os dados apresentados nos gráficos foram extraídas do banco de dados do LEARN-UnB (FREITAS 2003).

Cada aluno possui um login, permitindo registrar quando e por quanto tempo este realizou acesso ao experimento remoto. A Figura 7 mostra o número de execuções por aluno.

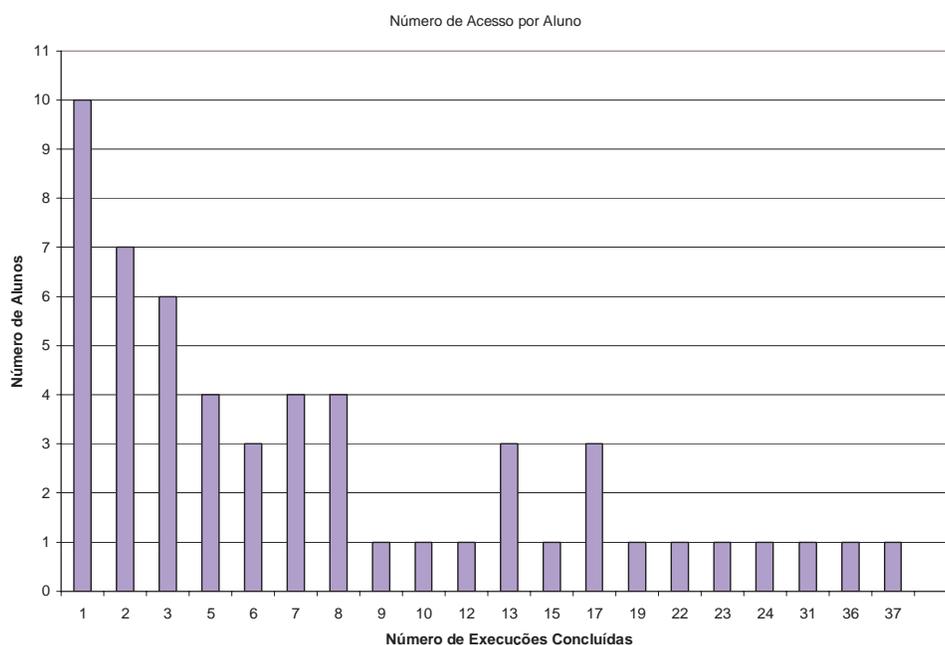


Figura 7 - Número de Execuções por Aluno

A Figura 7 mostra que 10 alunos realizaram apenas uma execução, não sendo, obviamente, suficiente para produzir os dois relatórios requeridos. Metades dos alunos executaram o Sistema de Nível de Líquidos menos de cinco vezes. Alguns alunos realizam experimentos em “excesso”, sete alunos realizaram mais de 20 vezes os experimentos.

Os alunos que executaram “excessivamente” o experimento foram consultados sobre eventuais dificuldades. Alguns admitiram que estavam “tentando encontrar o controlador por tentativa e erro” e sequer haviam lido o roteiro do experimento.

Como forma para evitar estas distorções propõem-se a exigência de um pré-relatório que permitiria liberar a execução dos experimentos remotos.

As execuções por grupos de usuários podem ser vistas na Figura 8. Este diagrama de pizza mostra de forma percentual o uso do LEARn-UnB por alunos, professores e membros do laboratório LAVSI.

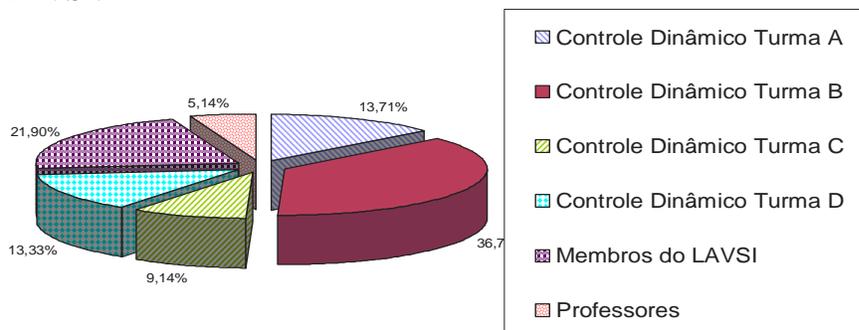


Figura 8 - Percentual de Uso por Grupo

Nota-se que os alunos da Turma B realizaram quatro vezes mais experimentos que os alunos da Turma C de Controle Dinâmico. Os alunos das turmas A e D realizaram quase o mesmo número de experimentos. A Figura 9 registra a atividade diária no laboratório. No eixo X, temos a data e no eixo Y, o número de experimentos realizados.

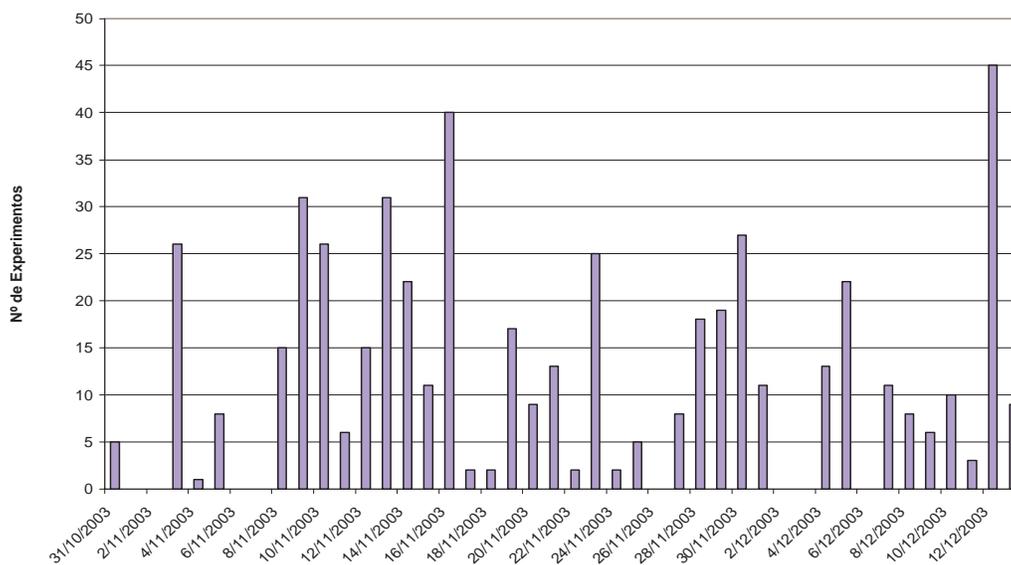


Figura 9 - Número de Execuções por Dia

Os dados de execução por dia mostram grande número de acessos às vésperas do prazo de entrega de relatórios e pouca atividade às vésperas de provas, como as de Controle Dinâmico, realizadas em 7/11 e em 5/12/2003.

Com a finalidade de distribuir de forma homogênea o acesso por dia, as seguintes medidas foram adotadas para o ano letivo de 2004: Liberação do acesso ao experimento condicionada à entrega de pré-relatório com projeto teórico; Comparação de experimentos realizados pelos alunos, para detectar compartilhamento “ilícito” de dados entre alunos; Datas de entrega de relatórios diferentes para cada turma.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma experiência de ensino remoto, desenvolvida e implementada na Universidade de Brasília, denominada LEARn-UnB. Os alunos das disciplinas de Análise Dinâmica Linear, Controle Dinâmico e Controle Digital dos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecatrônica são os beneficiários imediatos. Mediante cadastramento, no entanto, qualquer aluno que tenha acesso a Internet poderá realizar os experimentos remotos.

A motivação para a implementação do laboratório remoto surgiu, em primeira linha, da carência de experimentos presenciais que pudessem ilustrar os conceitos teóricos. Os experimentos disponíveis para o Laboratório de Controle Dinâmico são bastante antigos e não permitiam aplicar técnicas de controle fundamentais, tais como PID e avanço e atraso. Linearização em ponto de operação é um assunto que se via na disciplina de Análise Dinâmica Linear de forma teórica e em simulações. O projeto de controladores no espaço de estados - tópico de Controle Dinâmico e Controle Digital - não podia ser verificado experimentalmente pelos alunos. Todos estes aspectos são agora disponibilizados pelo LEARn-UnB.

A utilização do banco de dados permite o acompanhamento dos experimentos, de forma individualizada, pelo professor de laboratório. Permite também verificar a frequência de acessos e a cota de “acertos” de cada aluno.

Por parte dos alunos as maiores queixas foram relativas à disponibilidade do processo. Quer seja por tentativas múltiplas de acesso (em geral na véspera da data de entrega do relatório) ou por falhas na rede da universidade. Como experimento recém implantado, há que se registrar, também, a indisponibilidade devido ao ajuste (“*bug-fix*”) do sistema.

Atualmente uma nova versão do sistema de ensino remoto está sendo implementada, refletindo 4 anos de experiência com o LEARn-UnB. As principais melhorias são: 1-Duas motobombas, uma para injetar e outra para retirar água, o que permite um sinal de controle bi-direcional. 2-Controle do processo por Microcontrolador PIC18F252, que substitui PC com placa AD/DA de difícil manutenção. 3-“Lay-out” otimizado sem válvulas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINATEC e ao CNPq pelo apoio recebido. Também somos muito gratos aos ex-alunos Hugo L. Gosmann, Fernando Melo Luna Filho, Igor G. Ripoll, Alexandre S. Souza, Bruno Guimarães, Luis V. Ferreira e Rafael E. Jabuonski que com dedicação e empenho tornaram o LEARn-UnB possível.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, L. A. (2000) **Introdução à Identificação de Sistemas: Técnicas Lineares e Não-Lineares Aplicadas a Sistemas Reais**. Editora UFMG, Belo Horizonte.

Freitas, A. A. (2003), **Arquitetura de Laboratório Remoto com Banco de Dados e Controle no Espaço de Estados**. Projeto de Graduação em Engenharia de Controle e Automação – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.

Gambier, A. e Unbehauen, H. (1999) Adaptive predictive state-space control of a multivariable 3-tank system. Em 38th Conference on Decision & Control, pp 1234–1239, Phoenix, Arizona.

Grega, W. e Maciejczyk, A. (1994) **Digital control of a tank system**. IEEE Transactions on Education, Vol. 37, No. 3; pp. 271–276.

Guimarães, B., Souza, A.S., Gosmann, H.L., Bauchspiess, A. (2002) Internet based remote laboratory: the level control of three coupled water reservoirs. ACCA 2002 – Santiago, Chile

Jabuonski Jr., R. E.; Ferreira, L. V.; Guimarães, B.; Bauchspiess A. (2003) Sistema de Experimentação Remota Configurável de Controle de Nível de Líquidos Multivariável. VI SBAI, Bauru - SP.

Luiz, C. C., Silva, A. C., Coelho, A. A. R., e Bruciapaglia, A. H. (1997) **Controle adaptativo versus controle fuzzy: Um estudo de caso em um processo de nível**. SBA Controle & Automação, Vol.8 No.2; pp. 43–51.

Röring, C. e Jochheim, A. (1999) The Virtual Lab for Controlling Real Experiments via Internet. IEEE International Symposium on Computer Aided Control System Design. Kohala Coast-Island of Hawaii, USA

Souza, A. S; Ramos, L. M. A. **Sistema de Acesso Remoto Para Controle de um Processo Térmico**. 2003. Projeto de Graduação em Engenharia de Controle e Automação – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.

Vicino, A. et al (2003) Automatic Control Telelab. URL: www.dii.unisi.it/control/act/home.

Zeilmann, R.P., Silva Jr, J.M.G., Pereira, C.E., Bazanella, A.S. (2001) Uma Estratégia para Controle e Supervisão de Plantas Industriais através da Internet, V SBAI, Canela

REMOTE LABORATORY FOR TEACHING OF AUTOMATION ENGINEERING AT UNB

Abstract: *This paper presents the Automation Engineering Remote Teaching Laboratory (LEARn-UnB) used as a teaching tool in Mechatronics and Electrical Engineering undergraduate courses at Universidade de Brasília. In the development of such a tool, it has been considered the possibility of sharing experiments among other universities, the use of many experiments within the same software architecture, and the need to attend about sixty students per semester. The experiments currently in use are based on a three tanks, liquid level control system: linearization about an operating point, PID control, Lead-Lag compensation, and state space control. Control design using real systems experiments are very important in the learning process of control theory, since noise, non-modeled dynamics, and saturation are common phenomena in real processes. The possibility to interact with real systems through internet is an aspect which differentiates LEARN-UnB framework with respect to other internet-based laboratories, commonly based on simulated systems. In LEARN-UnB a Web server controls the access, execution of the process and experimental data. Experimental data are stored in a database, allowing to the professors and assistants posterior analysis, experiment verification and accompanying. In this manuscript, are presented the infrastructure of the remote laboratory as well as an analysis of its use by the students in a half-year control systems course.*

Keywords: *Remote Laboratory, Liquid Level Process, Dynamic Control, Internet.*