



NETCONTROL: REAL TIME ENVIRONMENT FOR REMOTE PROCESS CONTROL

Paper Code: 126

Clume, M. Franco; F. J. Gomes* e A.A. R. Coelho**

Depto. de Energia Elétrica, Faculdade de Engenharia
Universidade Federal de Juiz de Fora – Juiz de Fora - MG – Brasil
clume@geminisistemas.com.br

*Depto. de Energia Elétrica, Faculdade de Engenharia
Universidade Federal de Juiz de Fora – Juiz de Fora - MG – Brasil
chico@jfnet.com.br

**Depto. de Automação e Sistemas – UFSC – Florianópolis – SC – Brasil
aarc@lcmi.ufsc.br

Abstract — The work presents the development of an environment, Internet based, for remote industrial process control. This real time system, facilitating use of a multi-task system, is structured on a fuzzy controller basis and starts from the client-server conception. It's main characteristics is the ability of direct conversation among the users and the process administrator facilitating the project and tuning of the fuzzy algorithm in a simple and friendly way, in real time, on the screen of the environment. It is also possible to monitor the operations accomplished in the process through images generated by webcam and the accomplishment of conferences, on the task, among the users. Experiments accomplished in several widths of bands, as well as in situations of various geographical distances, showed the operationality and effectiveness of the proposed environment.

I. INTRODUÇÃO

Desde tempos mais remotos, quando o homem começou a aventura do desenvolvimento tecnológico, técnicas de controle começaram a ser empregadas, de forma rústica, para auxiliar na produção das toscas ferramentas de metal. Essas técnicas foram aprimoradas ao longo dos séculos, pois surgiram outras necessidades, com maiores requisitos de precisão, obrigando que mecanismos engenhosos fossem desenvolvidos para responder às mesmas. O grande avanço nessa área, contudo, só veio a ocorrer mais recentemente, com o advento da era industrial. Com o avanço da eletrônica, da informática e dos sistemas de comunicação, a possibilidade de controlar eficazmente processos e sistemas industriais é elevada praticamente ao limite da imaginação. O homem torna-se capaz de controlar não só processos locais, que exigem acompanhamento físico, mas pode monitorar e interferir em qualquer processo, em qualquer parte do mundo, sem necessidade presencial.

As redes de computadores trouxeram facilidades no processamento dos dados, possibilitando troca de informações e acesso remoto entre usuários, em diferentes pontos físicos, como se compartilhassem uma mesma sala. O desenvolvimento tecnológico conduziu, há cerca de 15 anos, à possibilidade concreta de conectividade das

diversas redes remotas, operando como se fossem única. Essa tecnologia, inicialmente denominada de “*internetworking*” [1], abrangia diferentes tecnologias de “*hardware*” e padrões de comunicação, permitindo união de redes as mais diversas. A tecnologia empregada na Internet, atualmente, permite que usuários com plataformas diversas se conectem, sem preocupações com detalhes de comunicação entre as mesmas.

No final dos anos 50 foi formada, nos EUA, a **ARPA** (“Advanced Research Project Agency”), integrante do Departamento de Defesa dos EUA, com objetivo de implementar uma rede de comunicações interligando locais críticos do sistema de defesa norte-americano. A característica principal colocada foi a robustez, representada por situação limite na qual, sob ataque nuclear e parcialmente destruída, sua comunicação fluiria normalmente em regiões não afetadas. Essa rede experimental, criada na década de 70, foi denominada, **ARPANET** e possuía, em 1971, 15 nós interligando 20 máquinas da ARPA.

O nome **INTERNET** começou a ser utilizado em 1973, ancorado no conceito “*internetworking*”, forma de interligação de redes. Nos anos de 1980 e 1981 misturaram-se os mundos militar, científico e universitário, ocasionando o aparecimento de rede única, que padronizou, em 1982, o padrão **TCP-IP** como seu protocolo, passando cada máquina a ser reconhecida por um endereço (“endereço IP”) que a identifica, ainda hoje, univocamente.

Paralelamente ao desenvolvimento da conectividade, os algoritmos de controle se sofisticaram face à demandas cada vez mais exigentes, culminando com uma geração de algoritmos com “aprendizagem”, ou seja, os controladores podem acumular ou “aprender” a experiência prática envolvida no controle do processo se aproximando do modo como os humanos decidem. Tais algoritmos empregam, entre outras, técnicas de Lógica Nebulosa [2], ou “Fuzzy”, Redes Neurais e Inteligência Artificial [3]. A característica da lógica nebulosa é apresentar uma forma inovadora no manuseio de informações imprecisas, distinta da **teoria de probabilidades**, pois provê um método de traduzir expressões verbais, geralmente vagas, imprecisas e qualitativas em valores numéricos, possibilitando converter a experiência humana em



NETCONTROL: REAL TIME ENVIRONMENT FOR REMOTE PROCESS CONTROL

Paper Code: 126

informação compreensível aos computadores. As possibilidades tecnológicas abertas pela lógica nebulosa apresentam imenso valor prático, pois possibilita incluir, nos algoritmos de controle, experiências dos responsáveis pela operação dos processos e plantas industriais, possibilitando tomadas de decisão mais consistentes em operações complexas.

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um ambiente de ensino, pesquisa e treinamento em controle de processos, para utilização remota, através da infra-estrutura disponibilizada pela Internet. Seu desenvolvimento buscou inspiração em dois aspectos: no avanço da conectividade, situação hoje praticamente onipresente, que encurta distâncias e torna o homem apto a interagir em diferentes situações e locais, e, em segundo lugar, na evolução dos algoritmos de controle inteligentes, que incorporam técnicas que se assemelham ao raciocínio humano, sendo mesmo, por isto, conhecidos como aplicações da inteligência computacional. Há que se ressaltar, adicionalmente, os custos elevados associados à montagem de laboratórios para ensino e prática na área de automação e controle de processos, dependentes, em sua quase totalidade, de equipamentos e componentes importados. A possibilidade real de compartilhamento de recursos infra-estruturais, por estudantes diversos, de instituições várias, abre excelentes perspectivas na formação e qualificação dos alunos.

O trabalho está estruturado como segue: os capítulos 2 e 3 introduzem o tema, ao tratar de aspectos da conectividade, multitarefas e controladores nebulosos; o ambiente desenvolvido é apresentado no capítulo 4, os resultados obtidos no 5 e as conclusões finais, no capítulo 6, encerram o trabalho.

2. CONECTIVIDADE

Para o desenvolvimento do sistema proposto, padrões de comunicação de dados foram amplamente empregados. A comunicação entre o módulo Servidor, responsável pela interface com o processo, e o módulo Cliente, onde é processado o controle e de onde o usuário interage com o processo, foi efetivada através do conjunto de protocolos TCP/IP, pilar de comunicações na Internet.

O ambiente desenvolvido incorporou técnicas de multiprocessamento, possibilitando execução simultânea de vários processos e conferindo-lhe características de tempo real. No ambiente Windows⁹, ocorre **programação dirigida a eventos**: um programa gasta a maior parte de seu tempo aguardando por eventos que, quando ocorrem, fornecem códigos para respondê-los. Os eventos são serializados, manipulados seqüencialmente, e quando um aplicativo executa um código, aguarda em

uma fila de mensagens reservada, a menos que o mesmo seja multitarefa, onde cada uma gerencia sua própria fila de mensagens. Quando um aplicativo responde uma mensagem, retorna ao estado de espera no último lugar da lista de programas e aguarda para manipular mensagens adicionais. No Windows^{3.1}, não havia como interromper um aplicativo durante a execução de um evento: os outros aplicativos simplesmente tinham que aguardar. A manipulação de eventos e filas de mensagens ainda é o âmago do Windows⁹⁵ e do Windows^{NT}, mas nessas plataformas de 32 bits, após decorrido período fixo de tempo, o sistema interrompe o aplicativo atual e passa o controle ao próximo da lista. Após a execução dos aplicativos, retorna-se ao primeiro da lista, em processo denominado **multitarefa preferencial**. O Windows⁹⁵ e o Windows^{NT} fornecem recursos para execução simultânea de duas tarefas através de **"multithreading"**, com as seguintes características:

Tabela 1 – Vantagens e Desvantagens do Multithreading

Desvantagens:	Vantagens:
- O "multithreading" torna a execução do programa mais lenta, a menos que se possa ter "threads" divididas entre várias CPUs;	- Pode-se executar um "thread" em segundo plano, permitindo continuidade na operação do programa;
- Os programas de "multithreading" são complexos, pois sincronizam compartilhamento de recursos e memória.	- Pode-se ajustar os tempos de execução dos "threads" por prioridades, controlando o acesso e atribuindo armazenamento local para cada "thread".

3. CONTROLADORES NEBULOSOS

A teoria de Conjuntos Nebulosos [2, 4, 5, 6] e os conceitos de Lógica Nebulosa [2] podem ser utilizados para traduzir, em termos matemáticos, a informação imprecisa expressa por um conjunto de regras lingüísticas. Se um operador humano for capaz de articular sua estratégia de ação como um conjunto de regras da forma **Se... então**, um algoritmo passível de ser implementado em computador pode ser elaborado, resultando um sistema de inferência baseado em regras, cujo ferramental é a teoria de Conjuntos Nebulosos. Notar que não é necessário conhecimento do modelo matemático do processo, o que pode constituir vantagem sobre outros procedimentos.

Um controlador nebuloso baseado em regras opera por intermédio de informações lingüísticas que conectam, imprecisamente, várias situações com as ações a serem tomadas e sua estrutura básica é mostrada na figura 1:

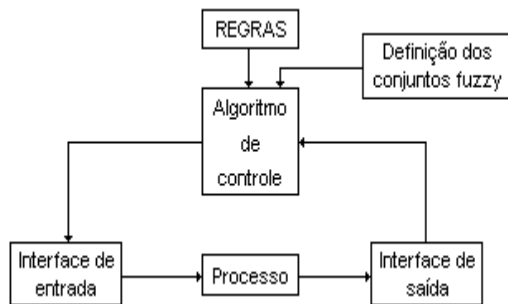


Figura 1 - Diagrama de blocos de um controlador nebuloso

A interface de saída adquire informações determinísticas do processo traduzindo-as para a linguagem dos conjuntos nebulosos, enquanto a de entrada converte a saída nebulosa do controlador em valor determinístico para o processo. Faz parte da estrutura a definição dos conjuntos nebulosos utilizados para representar regras, incluindo-se aí o universo das variáveis de entrada e saída do controlador. O algoritmo de controle usa as regras disponíveis e produz, para um estado do processo, a decisão sobre a próxima entrada. A estrutura apresentada é de caráter geral e aplicável a qualquer processo controlável por essas técnicas.

4. O SISTEMA NETCONTROL

NetControl é um sistema para controle de processos em laboratório, mas que possibilita acesso remoto de alunos e usuários. É um ambiente computacional que interage com um processo em laboratório, permitindo ensaios e controle total sobre o mesmo, por parte de um usuário, de qualquer parte do mundo, através da Internet. Permite, adicionalmente, intercâmbios inter-institucionais mediante cessão “virtual” de laboratórios à outros usuários, disponibilizando uma ferramenta que permite o acesso de estudantes a laboratórios de outras faculdades e processos diversos que, por ventura, não possuam. Foi desenvolvido utilizando-se linguagem Borland Delphi 5.0[®], com recursos para programação para Internet [7].

O sistema implementado envolveu a seleção de um processo em laboratório, objeto de controle, o desenvolvimento do “software” para um computador servidor, de interação com o processo e com os usuários, e de um “software” cliente, distribuído por computadores clientes, conectados ao servidor via Internet. O processo controlado é o balanço horizontal, constituído de haste horizontal fixada ao centro por um eixo - que permite seu giro nos sentidos horário e anti-horário - com ventiladores nas extremidades, um de rotação constante e outro variável [8,9]. A tarefa do controle é posicionar a haste horizontal em posição fixada, independente de cargas e distúrbios.

A comunicação entre o servidor e os clientes se valeu do protocolo TCP/IP. Para que o sistema pudesse operar em situação mais prática, próxima à realidade, foram implementados recursos de multitarefa, discutido na seção 2, permitindo o controle simultâneo e independente de dois processos

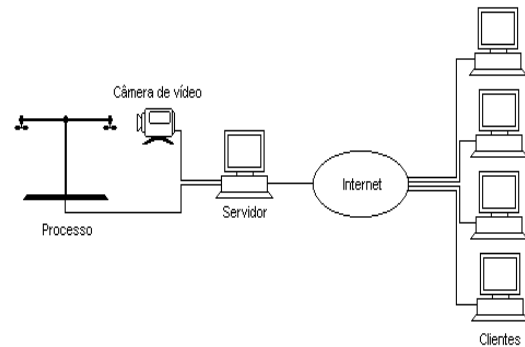


Figura 2 - Implementação do sistema de controle remoto, via Internet

Em cada cliente foi implementado um controlador nebuloso, com módulo amigável de sintonia, permitindo configurar geometricamente, na tela, as funções de pertinência, a quantidade de funções envolvidas, e criar as regras, de acordo com as funções utilizadas. Cada cliente pode sintonizar de forma independente, seu controlador e acionar remotamente o processo. A figura 3 mostra o módulo de imagem do ambiente, com o balanço horizontal e o servidor.



Figura 3. Módulo de imagem do ambiente com balanço horizontal e servidor

Como principais características do sistema, pode-se destacar:

- ? **Facilidade de instalação:** foi implementado um instalador para que o módulo cliente possa ser facilmente instalado em qualquer computador, de qualquer aluno ou usuário, possibilitando que o mesmo fique disponível para “download” em site da Internet;

- ? **Ambiente:** o ambiente desenvolvido é totalmente multi-janelas, que oferece ferramentas para realizar ensaios e interagir simultaneamente com outros usuários, em menus e barras de atalho de fácil acesso.
- ? **Facilidade de conexão:** possui módulo de configuração que permite a conexão através de rede local (com saída para Internet) ou “dial-up”, o que o torna utilizável tanto para laboratórios como para usuários domésticos. Para se conectar, exige-se identificação e senha do usuário, o que permite trabalho com grupos selecionados.

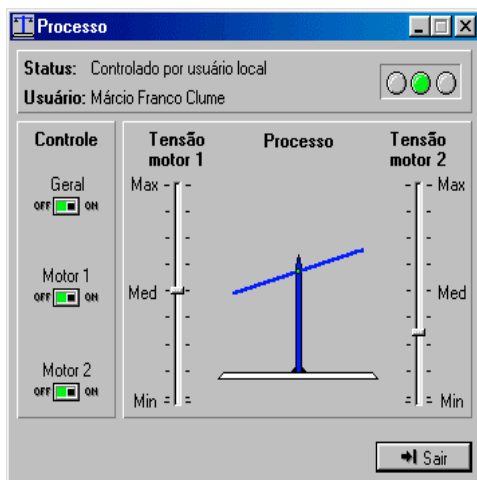


Figura 4. Tela de controle do processo

- ? **Ensaio simultâneo e em tempo real:** disponibiliza módulos para controle simultâneo, em tempo real, de processos distintos. Conectado, o usuário assume um processo, controla-o à distância, e acompanha o ensaio, em tempo real, através de animação na tela, com evolução da dinâmica (figura 4) e de informações gráficas. Um segundo processo pode ser controlado simultaneamente, pelo mesmo usuário ou por usuário diferente.
- ? **Acompanhamento simultâneo:** os ensaios realizados podem ser acompanhados simultaneamente por todos os estudantes conectados, e por um orientador, no laboratório. Um módulo de conversação, através de mensagens escritas, permite a interação de todos os usuários conectados, permitindo-os trocar experiências e discutir os ensaios em andamento.
- ? **Projeto amigável do controlador nebuloso:** permite sintonia do controlador mediante ajuste gráfico das funções de pertinência, arrastando-as na tela até a configuração desejada, bem como na composição das regras (figuras 5 e 6). As configurações podem ser gravadas em arquivos e enviadas a outros usuários, compartilhando experiências;

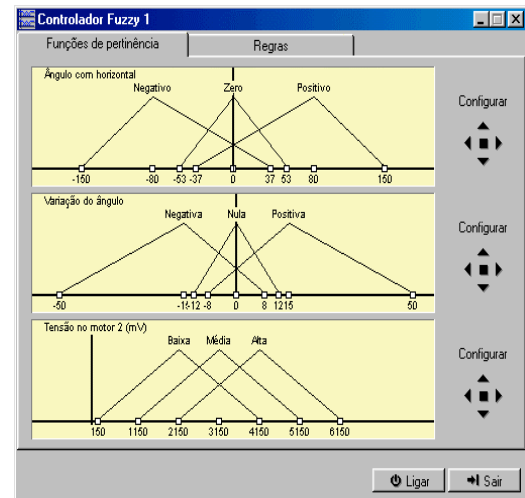


Figura 5. Módulo de construção e ajuste das funções de pertinência



Figura 6. Módulo de geração e construção de regras

- ? **Sintonia em tempo real:** a sintonia do controlador pode ser feita em tempo real, podendo o usuário ajustar as funções de pertinência e alterar as regras com o ensaio em andamento, e verificar, em tempo real, os efeitos das alterações introduzidas.
- ? **Transmissão de vídeo:** para garantir interatividade com o processo, o servidor disponibiliza imagens do mesmo (figura 3) que podem ser vistas no módulo cliente. Os estudantes podem acompanhar visualmente a evolução do ensaio, como se estivessem no próprio laboratório;
- ? **Gravação dos ensaios:** os ensaios podem ser gravados e reproduzidos com o módulo de gravação, permitindo reproduzir e analisar, mesmo não estando conectado à Internet, a evolução de um ensaio. Gravado, um ensaio pode ser enviado a outros usuários e reproduzidos em seus computadores.

As características descritas garantem uma utilização fácil e amigável para os usuários, independente de conhecimento anterior do sistema.

5. RESULTADOS

A operacionalidade do NetControl foi testada para diversas situações, com acesso por rede e “dial-up”, a partir da própria rede da UFJF, de acesso a provedores privados e a partir de outras instituições. Estes ensaios buscaram testar a operacionalidade dos diversos módulos, permitindo ao usuário efetuar o acesso remoto, projetar e alterar o controle, efetuar o ensaio e seu acompanhamento visual. Adicionalmente, foram testados, nas diversas situações, os módulos de tutorial e conferência. Serão reproduzidos aqui, para efeitos ilustrativos, e por limitação de espaço, quatro ensaios realizados, sendo dois dentre os ensaios a partir do **Laboratório de Controle e Instrumentação** da Universidade Federal de Santa Catarina, em Florianópolis, de onde se efetuou o controle do processo, localizado na Faculdade de Engenharia da UFJF, em Juiz de Fora.

O primeiro ensaio mostrado (figura 7) mostra a saída do sistema (erro na posição do balanço em relação à posição horizontal) quando foi utilizada a rede interna da UFJF, com o servidor e o processo em unidades fisicamente distintas.

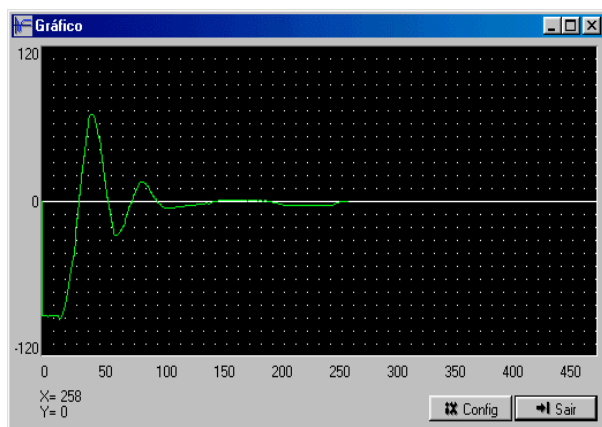


Figura 7 - Teste remoto do sistema – Rede do CSTI da UFJF

A estabilização ocorreu com poucas oscilações, em um tempo da ordem de 25s, sendo que a dinâmica do sistema foi muito próxima à obtida na sintonia inicial do controlador. Vale informar que os dados trafegam nesta rede a 10 Mbs.

O segundo ensaio mostrado (figura 8) foi efetuado mediante acesso discado de um provedor local, com o processo localizado, fisicamente, no laboratório da UFJF. Neste ensaio, em comparação com o anterior, vê-se claramente como a velocidade da rede influencia na estabilização do processo, que agora ocorreu em um período de 32s. Com uma velocidade menor, devido à conexão discada (respostas ao **ping** variaram de 1ms a 300ms) e com os pacotes trafegando por vários servidores até atingirem seu destino, o processo sofreu maiores

oscilações, até se estabilizar, pois o atraso introduzido no intervalo de amostragem foi de aproximadamente 0,3s, 30% do valor nominal utilizado. Apesar disso, a dinâmica final obtida foi plenamente coerente com resultados obtidos em ensaios locais e com o ensaio anterior.

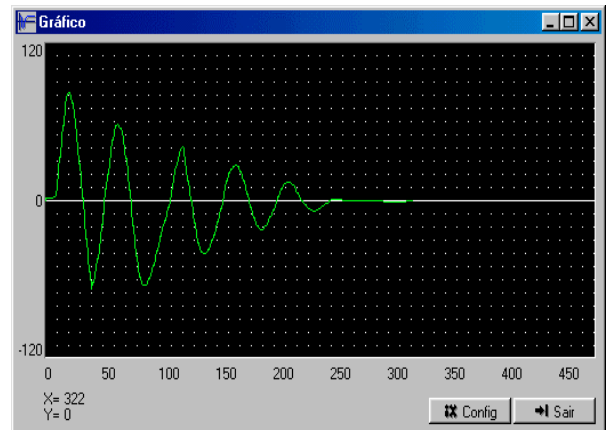


Figura 8 - Teste remoto do sistema – Conexão “dial - up” do provedor “TERRA”

O primeiro ensaio realizado a partir da UFSC, é mostrado no gráfico da figura 9, onde se pode ver o momento do acionamento do primeiro motor, de velocidade fixa, por volta dos 15 s o motor controlado por volta de 22 s, com a estabilização ocorrendo por volta de 44s, resultando em um tempo de 22s para o processo entrar em regime. Os resultados para outro ensaio executado são mostrados na figura 10. O motor fixo foi acionado em 1s e o controlado em 3s, aproximadamente. O sistema estabilizou-se por volta de 23s, o que deu um tempo de 20s para a estabilização, resultado esse coerente com outros testes e ensaios realizados.

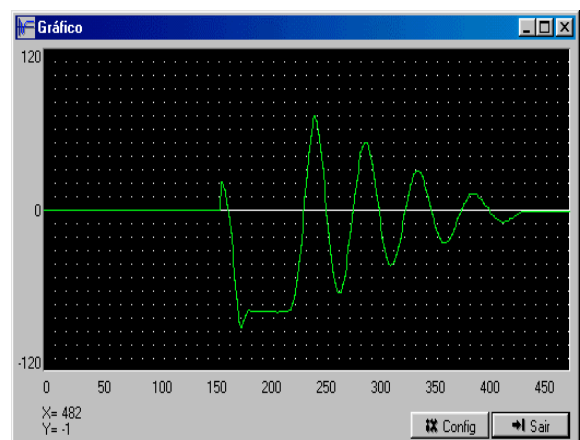


Figura 9. Ensaio 1 realizado a partir do LCMI da UFSC (erro na posição do balanço)

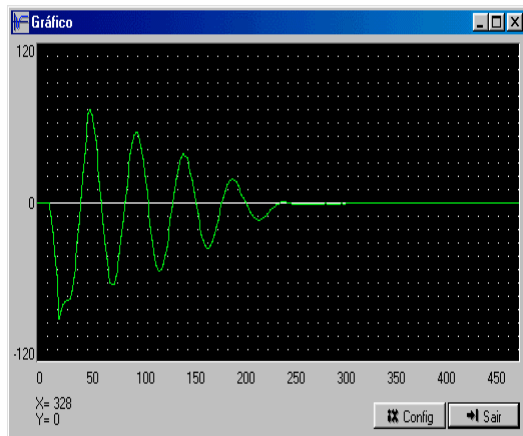


Figura 10. Ensaio 2 realizado a partir do LCMI da UFSC (erro na posição do balanço)

6. CONCLUSÕES

Pelos ensaios realizados, o ambiente mostrou-se eficiente e atendeu ao proposto. É altamente amigável com o usuário, o sistema de sintonia do controlador altamente didático, tanto devido aos recursos gráficos para se montar as funções de pertinência quanto devido à possibilidade de alterá-las durante o ensaio, permitindo que estudantes possam acompanhar em tempo real o efeito de alterações na sintonia. As ferramentas de apoio à interatividade implementadas, como a conversação, demonstraram-se úteis, possibilitando maior envolvimento dos usuários, e acertar detalhes dos ensaios, como no ensaio realizado a partir da Universidade Federal de Santa Catarina.

A transmissão de imagens do processo também possibilita ao usuário acompanhar o ensaio como se estivesse no próprio local. Há que se assinalar que, em praticamente todas as situações, o processo alcançou situação de regime, com estabilização, mostrando total viabilidade de se implementar sistemas de aprendizado, treinamento e mesmo controle remoto via Internet. Um fator que se demonstrou crítico à estabilização foi a velocidade de conexão. Mesmo em ensaios em que a rota seguida pelo cliente para chegar até o servidor foi maior, mas com velocidades de conexão melhores, o processo se estabilizou mais rápido do que naqueles com rotas mais curtas mas com velocidades menores. As conexões discadas mostraram-se mais críticas, facilmente explicável pelas suas baixas velocidade e qualidade.

Para a finalidade que foi desenvolvido, visando tornar-se uma ferramenta valiosa no ensino de Controle e Automação, permitindo o compartilhamento de laboratórios com equipamentos sofisticados do mundo todo com um número cada vez maior de usuários e facilitando a interatividade e troca de experiências entre estes, o sistema mostrou-se totalmente viável.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - MESTRADO EM GESTÃO DE INFORMAÇÃO - GESTÃO E ORGANIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO NA INTERNET. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2001. Disponível na Internet: <<http://www.fe.up.pt/~goii2000/>>.
- 2 - SHAW, Ian S.; SIMÕES, Marcelo Godoy. *Controle e Modelagem Fuzzy*. São Paulo: FAPESP - Editor Edgard Blücher Ltda., 1999.
- 3 - ZURADA, Jacek M. (University of Louisville); MARKS II, Robert J. (University of Washington); ROBINSON, Charles J. (University of Pittsburgh). *Computational Intelligence Imitating Life*. IEEE Press, 1994.
- 4 - DUBOIS, D.; PRADE, H. *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. New York: Academic Press, 1980.
- 5 - KAUFMANN, A.; GUPTA, M. M. *Introduction to Fuzzy Arithmetic*. V. N. Reinhold, 1985.
- 6 - LEE, C. C. Fuzzy logic in control systems: fuzzy logic controller-parts 1 and 2. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 20, No. 2, p. 404-435, 1990.
- 7 - FRANKLINT, Kleitor. *Delphi 5 para Internet com Banco de Dados - O Guia*. 2ª Edição. São Paulo: Editora Érica, 2000.
- 8 - KRUSE, R.; GEBHARDT, J.; KLAWONN, F. *Foundations of fuzzy systems*. Wiley, Chichester, 1994.
- 9 - FILATOV, N. M.; KEUCHEL, U.; UNBEHAUEN, H. Dual Control for an Unstable Mechanical Plant. *IEEE Control Systems*, p. 31-37, August, 1996.