

SISTEMA SUPERVISÓRIO DIDÁTICO

Daniel Chagas do Nascimento

Universidade de Taubaté, Taubaté - S.P., Brasil, daniel@engenhariatelecom.com.br

João Bosco Gonçalves

Universidade de Taubaté, Taubaté - S.P., Brasil, gonbj@bol.com.br

Pedro Paulo Leite do Prado

Universidade de Taubaté, Taubaté – S.P., Brasil, pplprado@ieee.org

Resumo. Este artigo apresenta o desenvolvimento e a aplicação de um supervisório didático para a área de controle. O sistema supervisório didático foi desenvolvido para proporcionar aos usuários a possibilidade de controlar e monitorar um forno elétrico através de duas interfaces: a primeira é uma interface local executada através de um aplicativo que fornece janelas gráficas para atuação e apresentação do desempenho do sistema em tempo real e a segunda, gerada através de páginas dinâmicas de internet, tem a finalidade de prover o controle a distância via Internet, com as mesmas características da interface de controle local. O sistema tem uma base de dados que objetiva o armazenamento dos históricos do controle, a distribuição e o compartilhamento das informações entre a interface de controle local e a distância. Foi também desenvolvida uma placa AD/DA de aquisição de dados, com uma entrada e uma saída analógicas, cujo objetivo é conectar o computador à planta. O projeto desenvolvido emprega tecnologias de controle em tempo discreto, base de dados, eletrônica aplicada a computador, programação visual e programação para Internet.

Palavras-chave: aquisição de dados; controle discreto; supervisório didático; Internet.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo desse trabalho foi conceber, projetar e implementar um sistema supervisório didático aplicado a um forno elétrico. O sistema proposto está dividido em duas partes: uma baseada em *software* e a outra em *hardware*.

O *software* consiste de duas interfaces que possibilitam ao usuário controlar e monitorar o forno, localmente e a distância, via *Internet*.

A interface de controle local permite monitorar, atuar, obter a função de transferência da planta, gerar arquivos e também habilitar ou não o acesso ao supervisório via *Internet*.

A interface para controle via *Internet* dispõe das mesmas funções da interface local, com exceção da obtenção da função de transferência. Essa interface é executada através de um *browser* de navegação, portanto, sem a necessidade de um *software* específico.

As duas interfaces utilizam uma base de dados comum para armazenamento e troca de informações, possibilitando, análises em tempo real e após as simulações.

A interface de controle local está desenvolvida em visual *C++ Builder*[®]. Para criação da interface de *Internet* e o acesso à base de dados foram utilizadas as linguagens HTML e PHP, e servidores do tipo *Xitami* ou *Apache* são utilizados para prover o acesso.

O *hardware* desenvolvido consiste de uma placa AD/DA de aquisição de dados com uma entrada e uma saída analógicas, conectada ao microcomputador via porta paralela. A malha fechada

de controle é constituída interligando o forno elétrico ao computador, por intermédio da placa AD/DA.

Construindo a placa de aquisição de dados com conexão via porta paralela e utilizando-se alguns softwares sob licença pública, ou seja, gratuitos para desenvolvimento, conseguiu-se um baixíssimo custo na implementação projeto.

1.1. Aquisição de Dados

Um sistema de aquisição de dados tem como função principal extrair informações de processos, converter para um equivalente digital adequado para ser processado por um computador.

A Figura (1) ilustra as etapas do processo de aquisição de dados.



Figura 1. Sistema de aquisição de dados

No processo de aquisição de dados, o transdutor converte um tipo de energia em outra, com uma certa fidelidade, para que o dado convertido tenha confiabilidade. No caso de uma placa de aquisição de dados toda grandeza a ser medida deve ser convertida em tensão elétrica ou corrente elétrica.

Na fase de condicionamento, o sinal elétrico gerado pelo transdutor é condicionado de modo a respeitar os parâmetros da fase de aquisição. São dois os parâmetros principais a serem verificados na fase de condicionamento:

1. Amplitude máxima do sinal elétrico: deve estar dentro da faixa de valores para a entrada da placa, caso contrário os dados da aquisição podem ser incorretos ou até mesmo causar danos aos componentes da placa.
2. Taxa de amostragem: deve respeitar o teorema de *Nyquist*. Logo no condicionamento devem existir filtros que eliminem harmônicos que ultrapassem a metade da taxa de amostragem.

Na fase de aquisição, o sinal elétrico amostrado segundo o teorema de *Nyquist* é convertido em um equivalente digital através de conversores analógico para digital (A/D). Após a fase de conversão, os dados são armazenados em alguns registradores da própria placa que posteriormente são acessados via *software*, a fim de concluir a aquisição.

No processo de análise as amostras coletadas podem ser processadas imediatamente após a coleta ou serem armazenadas na forma de arquivos para serem analisadas posteriormente.

1.2. Controlador PID Digital

Para se obter o controlador PID digital, foi considerado o controlador no domínio S apresentado na Eq. (1).

$$\frac{U(s)}{E(s)} = G_c(s) = K_1 + \frac{K_2}{s} + K_3 s \quad (1)$$

Foi determinada uma implementação digital deste controlador usando-se uma aproximação discreta para a derivada e para a integração. Para a derivada em relação ao tempo utilizou-se a regra da diferença atrasada. A integração do erro foi representada pela integração retangular avançada em $t = kT$, Dorf et al (1998).

Assim a função de transferência no domínio Z do controlador PID é a da Eq. (2).

$$G_c(z) = K_1 + \frac{K_2 T z}{(z-1)} + K_3 \frac{(z-1)}{T z} \quad (2)$$

O algoritmo da equação a diferenças que fornece o controlador PID é obtido somando-se os 3 termos, obtendo-se a Eq. (3).

$$u(k) = [K_1 + K_2 T + (\frac{K_3}{T})]e(k) + K_3 T e(k-1) + K_2 u(k-1) \quad (3)$$

A Eq. (3) foi implementada usando-se um computador.

1.3. Supervisório

Supervisório são sistemas de supervisão e controle de processos industriais que coletam dados do processo, formatam estes dados, e os apresentam ao operador em uma multiplicidade de formas. O objetivo principal desses sistemas é o de propiciar uma interface (homem / máquina) de alto nível capaz de informar em tempo real todos os eventos de importância que ocorrem no processo.

Os sistemas de supervisão oferecem três funções básicas, Seixas et al (2003):

1. Funções de supervisão: Inclui todos as funções de monitoramento do processo tais como, sinóticos animados, gráficos de tendência de variáveis analógicas e digitais, relatórios em vídeo e impressos, etc.
2. Funções de operação: Os sistemas supervisório substituíram com vantagens as funções da mesa de controle. As funções de operação incluem, ligar e desligar equipamentos e seqüência de equipamentos, operação de malhas PID, mudança de modo de operação de equipamentos, etc.
3. Funções de controle: Controle DDC ("Digital Direct Control"). Todas as operações de entrada e saída são executadas diretamente através de cartões de I/O ligados diretamente ao barramento do micro, ou por remotas mais simples. Os dados são amostrados, e um algoritmo de controle, como um controlador PID, é executado. A ação de controle é aplicada diretamente ao processo.

1.4. Controle Supervisório

Nesta classe de sistemas, os algoritmos de controle são executados pela unidade terminal remota (UTR), mas os *set-points* para as malhas de controle são calculados dinamicamente pelo sistema de supervisão de acordo com o comportamento global do processo. Esta arquitetura possui maior confiabilidade que os sistemas DDC e traz a vantagem de atuar sobre um grande número de malhas de controle simultaneamente enquanto o operador geralmente só consegue atuar malha a malha com um sistema convencional.

Geralmente são utilizados sistemas especialistas para definição das regras de controle.

2. VISÃO SISTÊMICA DO SUPERVISÓRIO DESENVOLVIDO

O sistema desenvolvido consistiu basicamente de um forno elétrico equipado com um sensor PT100 e um atuador, conversores de tensão para corrente, uma placa de aquisição de dados, um software supervisório com uma interface para rede através de páginas HTML e PHP e uma base de dados, conforme ilustra a Fig. (2).

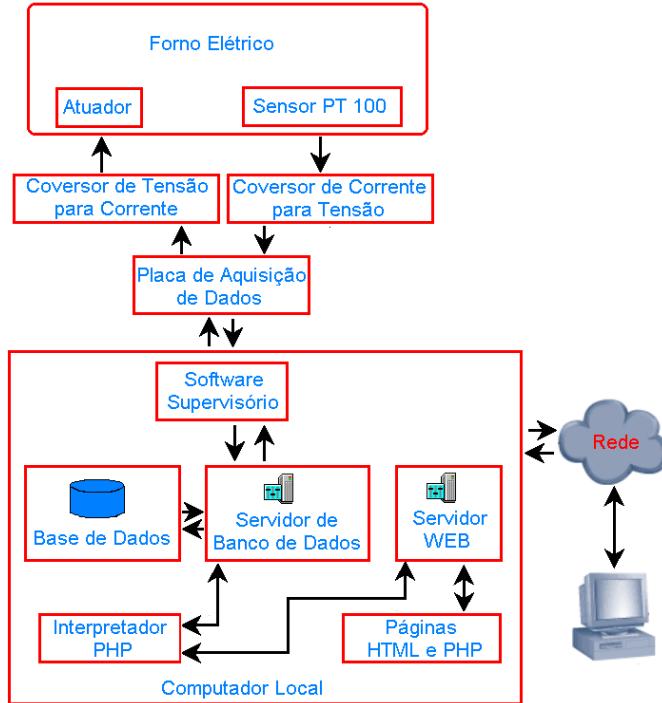


Figura 2. Visão sistêmica do supervisório desenvolvido

2.1. Forno Elétrico

O forno elétrico contém um atuador controlado por corrente de 0 a 20 mA que pode variar a tensão na resistência de 0 a 110 V e um sensor PT 100 que converte temperaturas de -10°C a 350°C em corrente de 4 mA a 20 mA. O atuador e o sensor estão conectados a um conversor de tensão para corrente e um conversor de corrente para tensão, respectivamente. Os conversores são utilizados para proteger a entrada e a saída da placa de aquisição de dados e também para fazer as conversões, garantindo que o sinal da entrada seja de 0 a 5 V e o da saída seja convertido para uma corrente de 0 a 20 mA.

2.2. Placa de Aquisição de Dados

Para se ter um baixo custo de desenvolvimento e maior facilidade de desenvolvimento, optou-se por fazer uma placa AD/DA de 8 bits via porta paralela, no modo EPP, que trabalha com 8 bits paralelos para enviar e receber dados, Mendonça et al (2002). A placa tem uma entrada e uma saída analógicas, sua constituição básica é a de um conversor A/D modelo ADC0804 para a entrada, um conversor D/A modelo DAC0800 para a saída da placa, um *flip-flop* de 8 bits modelo 74LS374 para evitar flutuações na saída, oito opto-acopladores modelo 4n26 para se fazer a conexão com a porta paralela, que trabalha em coletor aberto, e um amplificador operacional para fazer o tratamento do sinal na saída. A idéia básica da placa de aquisição de dados é ilustrada na Fig. (3).

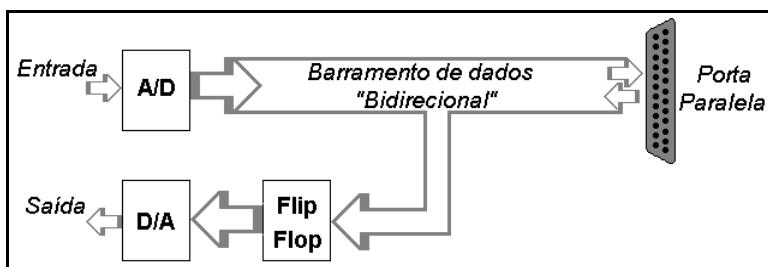


Figura 3. Concepção do projeto da placa de aquisição de dados

A placa de aquisição de dados desenvolvida é mostrada na Fig. (4).

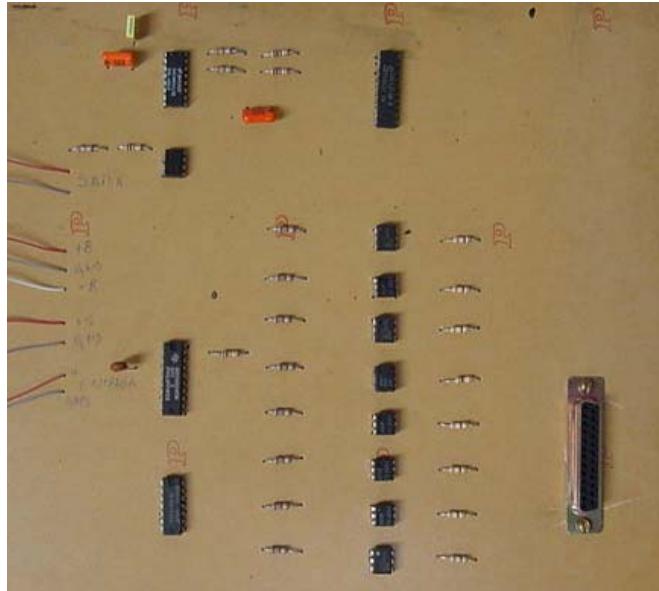


Figura 4. Placa de aquisição de dados

Com a placa de aquisição de dados desenvolvida foi possível fazer aquisição a uma taxa de até 9.708 conversões por segundo, e enviar sinais na saída com variações de até 250 kHz.

2.3. Base de Dados

Devido a complexidade de se conectar programas distintos como páginas dinâmicas PHP com um aplicativo desenvolvido em linguagem C, optou-se por utilizar uma base de dados *Interbase*, que é comum a ambos os programas, para fazer a conexão das diferentes interfaces. A base de dados é utilizada para armazenar variáveis de importância aos dois programas e também um histórico de toda a simulação do sistema.

A base de dados é constituída pela tabela AMOSTRA_FORNO apresentada em Tab. (1), que armazena o histórico das simulações e pela tabela PARÂMETROS apresentada em Tab. (2), que tem a função de armazenar as configurações do sistema.

Tabela 1. Tabela AMOSTRA_FORNO

Campo	Tipo	Função
TEMPERATURA	Float	Armazenar o valor da temperatura no momento da amostra.
DATA_HORA	TimeStamp	Armazenar a data e a hora em que a amostra foi salva.
KP	Float	Armazenar o valor de Kp no momento da amostra.
KI	Float	Armazenar o valor de Ki no momento da amostra.
KD	Float	Armazenar o valor de Kd no momento da amostra.
ATUADOR	Float	Armazenar o valor da tensão aplicada no forno.
TEMPO	Float	Armazenar o tempo decorrido da simulação.
ERRO	Float	Armazenar o erro entre a referência e a temperatura atual.

Tabela 2. Tabela PARÂMETROS

Campo	Tipo	Função
CTRL INTERNET	VarChar(1)	Informar se está ou não habilitado o controle via internet.
SOFT_STATUS	VarChar(1)	Informar se o software supervisório está ou não ligado.
CTRL_STATUS	VarChar(1)	Informar se o software supervisório está atuando.
TEMPERATURA	Float	Armazenar o valor de referência da temperatura.
TEMPO_AMOSTRA	Float	Armazenar o valor da taxa de amostragem.
KP	Float	Armazenar o valor de Kp a ser utilizado no controle.
KI	Float	Armazenar o valor de Ki a ser utilizado no controle.
KD	Float	Armazenar o valor de Kd a ser utilizado no controle.

2.4. Software Supervisório

O supervisório é o responsável pelo controle do forno elétrico, geração de gráficos e pelas informações que são enviadas via Internet. No aplicativo de controle existem três janelas que possibilitam configurar o controlador PID e os parâmetros do sistema, gerar arquivo para obtenção da função de transferência do forno e analisar o processo graficamente em tempo real.

A janela de configurações, que é mostrada na Fig. (5), permite alterar as constantes do controlador PID, alterar a taxa de amostragem, habilitar ou não o controle via rede e inserir o valor para o degrau que é utilizado para gerar o arquivo de resposta do sistema em malha aberta. Toda a alteração que é efetuada via rede também é atualizada nessa janela.

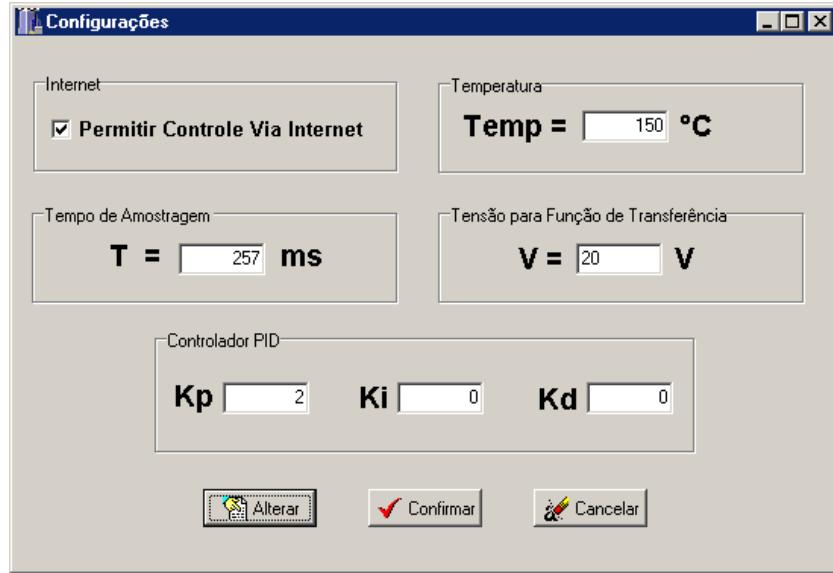


Figura 5. Janela de configurações

A janela de controle, mostrada na Fig. (6), tem a função de iniciar e parar o processo, gerar um arquivo de histórico e também mostrar através de três gráficos e quatro caixas de texto o desempenho do sistema.

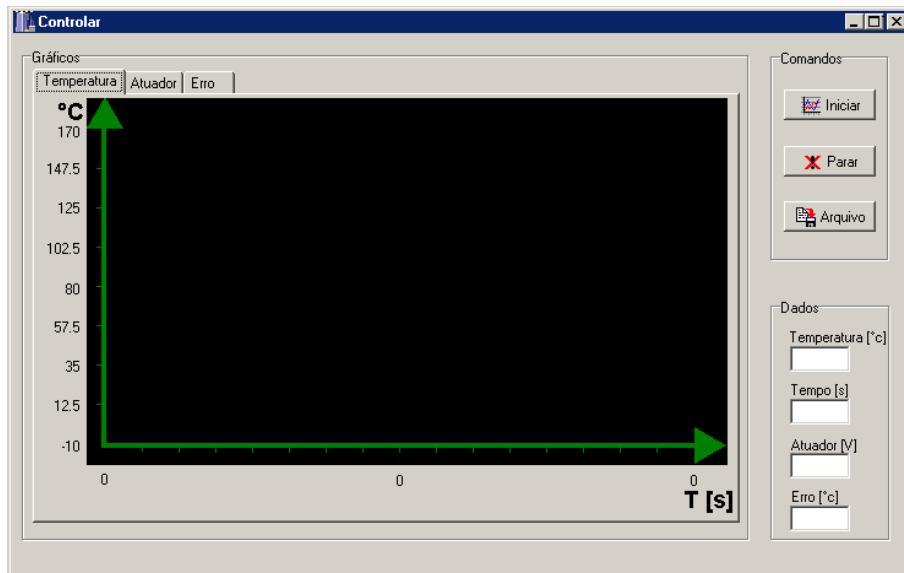


Figura 6. Janela de controle

A janela de função de transferência, mostrada na Fig. (7), permite gerar um arquivo de resposta do sistema a um degrau em malha aberta e também apresentar graficamente em tempo real o desempenho do sistema. O arquivo gerado pode ser aberto em softwares como o *Excel* ou *Matlab*[®], possibilitando assim, o cálculo da função de transferência.

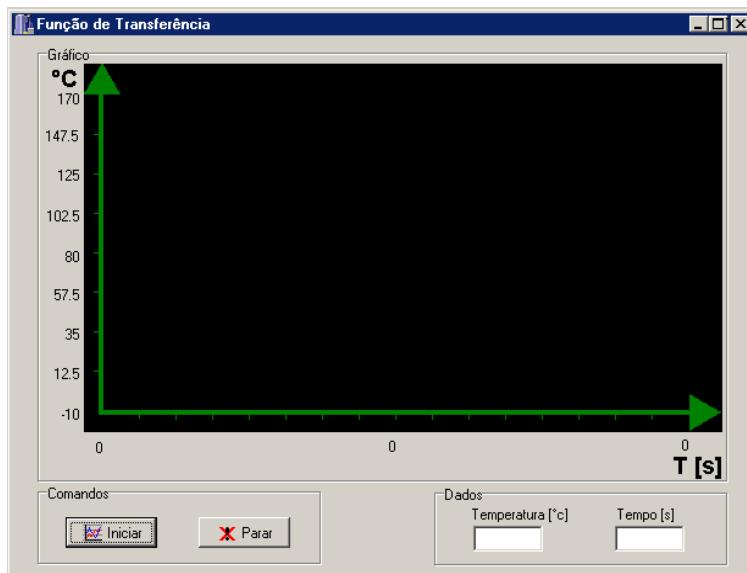


Figura 7. Janela de função de transferência

2.5. Páginas HTML e PHP

As páginas de Internet compõem três interfaces que permitem verificar o status do sistema em tempo real, alterar os parâmetros do controlador, iniciar e parar o processo, fazer *downloads* de arquivos e também visualizar os gráficos de desempenho do sistema.

Para acessar a página principal existem dois modos, apresentados a seguir:

1. Pelo nome do computador, em uma rede local. Para isso digita-se no *browser* o caminho “[Nome do computador/Página_Principal.htm](#)”.
2. Pelo número IP, para Internet e rede local. Para fazer esse tipo de acesso digita-se no *browser* o caminho “[IP do computador/Página_Principal.htm](#)”.

A página principal, mostrada na Fig. (8), é executada automaticamente quando o caminho digitado é requisitado pelo *browser*. A página principal tem a função de apresentar o *status* do sistema, os parâmetros do controlador e os dados atuais do forno. Essa página é dinâmica, do tipo PHP, sendo, atualizada a partir da base de dados. À esquerda da página existe um *menu* com três botões que permitem a navegação entre as páginas.

The screenshot shows the main page with a sidebar on the left containing three buttons: Status, Parâmetros, and Gráficos. The main area has three panels:

- STATUS DO SISTEMA**: Shows three status checkboxes: Sistema (Ligado), Controlador (Ligado), and Controle via Rede (Ligado).
- PARÂMETROS DO SISTEMA**: Shows parameters Kp (2.000), Ki (0.000), Kd (0.000), T [ms] (257.000), and Temperatura [°c] (150.000).
- SISTEMA**: Shows Temperatura [°c] (0.000), Atuador [v] (0.000), Tempo [s] (0.000), and Erro [°c] (0.000).

Figura 8. Página principal

Através da página de parâmetros, mostrada na Fig. (9), é possível alterar os parâmetros do sistema, iniciar e parar o processo e fazer *downloads* de arquivos. Essa página também é do tipo PHP, atualizando e recebendo informações da base de dados.

The screenshot shows the parameters page with a sidebar on the left containing three buttons: Status, Parâmetros, and Gráficos. The main area has three panels:

- PARÂMETROS DO SISTEMA**: Input fields for Kp, Ki, Kd, T [ms], and Temperatura [°c], followed by an Enviar button.
- CONTROLE**: Buttons for Iniciar Processo and Parar Processo.
- DOWNLOADS**: Buttons for Histórico (Download) and Função de Transferência (Download).

Figura 9. Página de parâmetros

A página de gráficos, mostrada na Fig. (10), tem a função de apresentar a cada 7 segundos a atualização dos gráficos de desempenho do sistema gerados pelo *software* supervisório. Essa página é somente informativa, sendo do tipo HTML.

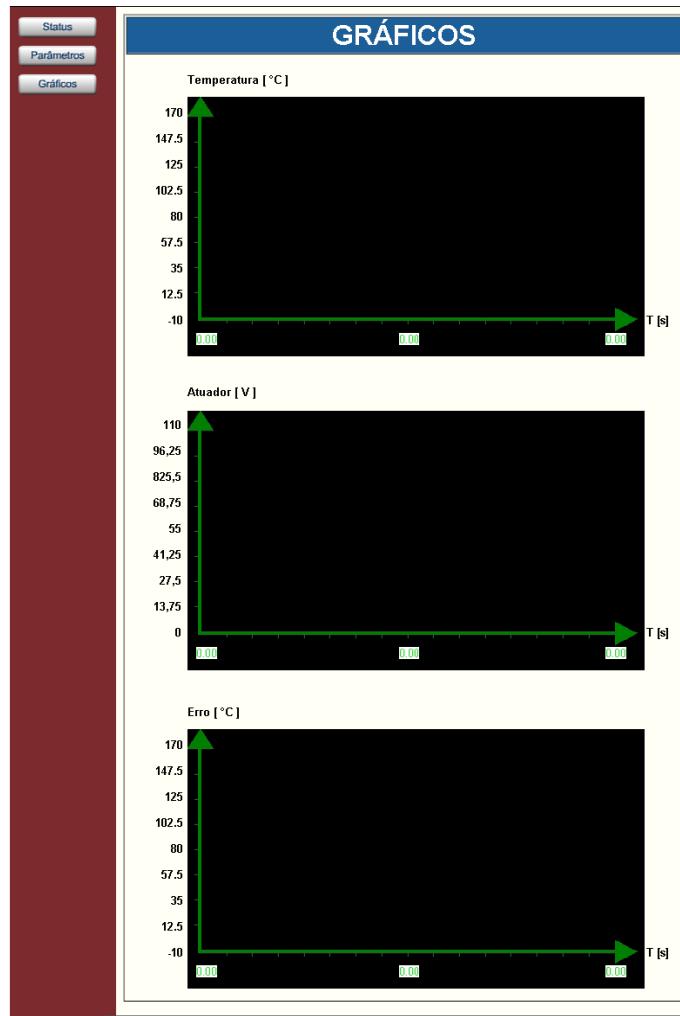


Figura 10. Página de gráficos do sistema

3. CONCLUSÃO

O sistema está montado em uma bancada de laboratório onde foram feitos testes, simulações e análises. O desempenho apresentado atendeu perfeitamente às especificações do projeto.

Esse sistema é utilizado como um kit didático para ministrar aulas no laboratório ou a distância, via Internet e também para prover serviços de laboratório virtual. O sistema poderá ser utilizado em aulas práticas sobre aquisição de dados, controle em tempo discreto, automação, utilização de base de dados e estudos de páginas dinâmicas para Internet. A grande virtude desse projeto é o baixo custo de desenvolvimento e a vasta área do ensino de Engenharia em que ele pode ser empregado.

O projeto obteve grande sucesso em sua realização pelo fato de tratar de tecnologias que estão em evolução e são de grande utilização em sistemas de automação industrial e em kits educacionais de laboratórios virtuais.

4. REFERÊNCIAS

- Dorf, R.C. e Bishop R.H., 1998, “Sistemas de Controle Modernos”, 8º ed. Rio de Janeiro: Editora LTC.
- Mendonça, A. e Zelenovsky, R., 2002, “PC: Um Guia Prático de Hardware e Interfaceamento” 3º ed. Rio de Janeiro: Editora MZ.
- Seixas Filho, C., 2003, “SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition”. Disponível em <http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas>. Acesso em 5 Abril 2003.

5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

EDUCATIONAL SUPERVISORY SYSTEM

Daniel Chagas do Nascimento

University of Taubaté, Taubaté - S.P., Brazil, daniel@engenhariatelecom.com.br

João Bosco Gonçalves

University of Taubaté, Taubaté - S.P., Brazil, gonbj@bol.com.br

Pedro Paulo Leite do Prado

University of Taubaté, Taubaté – S.P., Brazil, pplprado@ieee.org

Abstract. This paper presents the development and application of an educational supervisory system. The educational supervisory system was developed to provide the users the possibility to control and to monitor an electric oven through two interfaces: the first is the local interface executed through a applicative that provides graphical windows for the presentation of the system in real time and the second interface, generated through dynamic pages of Internet, aims at permitting the distance control using the Internet, with the same characteristics of the interface for local control. The system has a database, whose purpose is storing the descriptions of the control, distributing and sharing the information between the local control interface and the WEB interface. We developed also an circuit AD/DA for data acquisition, to connect the microcomputer to the electric oven Our approach was based on technologies of control in discrete time, database, electronics applied to the computer, visual programming and programming for the Internet.

Keywords: data acquisition; discrete control; educational supervisory; Internet.