

DESENVOLVIMENTO DE EXPERIMENTOS LABORATORIAIS PARA O ENSINO DE AUTOMAÇÃO DA MEDIÇÃO NO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Gilva Altair Rossi – gilva@demec.ufmg.br

José Maria Galvez – jmgalvez@ufmg.br

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Mecânica

Av. Antônio Carlos, 6627

CEP 31.270-901- Belo Horizonte – Minas Gerais

***Resumo:** Este artigo apresenta o experimento desenvolvido no Laboratório de Automação e Controle do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais. O experimento trata das etapas do desenvolvimento de um sistema de medição automatizado. O sistema utiliza uma placa de aquisição de sinais, sensores de temperatura e a programação do algoritmo de aquisição de dados. As etapas do desenvolvimento são apresentadas sequencialmente de forma que cada etapa corresponde a uma aula experimental a ser apresentada aos alunos do Curso de Engenharia Mecânica da UFMG.*

***Palavras-chave:** Ensino de Automação, Sistemas de Aquisição, Medição de Temperatura*

1 INTRODUÇÃO

A grade curricular do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais inclui a trajetória de Mecatrônica, onde os alunos têm a possibilidade de cursar disciplinas voltadas para a área de Eletrônica, Automação e Controle. Com estes conhecimentos, pode-se formar um profissional com um perfil muito requerido no mercado nacional, ou seja, um engenheiro mecânico que tenha conhecimentos de mecatrônica, que pode ser definido como uma linha de desenvolvimento interdisciplinar que envolve sub-áreas da Engenharia Mecânica, Elétrica, Eletrônica e Ciência da Computação. O sistema desenvolvido e apresentado neste artigo envolve estas áreas.

O principal objetivo deste projeto de ensino é o desenvolvimento de aulas práticas que possibilitem que os alunos de Engenharia Mecânica se familiarizem com sistemas de medição automatizados e sejam capazes de desenvolver, analisar o desempenho destes sistemas e também associar os conhecimentos teóricos adquiridos em sala de aula com as atividades práticas desenvolvidas no Laboratório.

2 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste sistema foi dividido em duas fases. A primeira fase é a de teste e familiarização com a placa de aquisição de sinais. A segunda fase é o desenvolvimento do sistema de medição de temperatura. A primeira fase consta das seguintes etapas:

- Instalação física e configuração da placa de aquisição de sinais;
- Programação básica da placa;
- Teste de comunicação do sistema.

Passado a primeira fase, inicia-se o desenvolvimento do sistema de medição, que consta das seguintes etapas:

- Instalação e configuração da placa condicionadora de sinais;
- Ligação dos sensores;
- Desenvolvimento do programa para leitura, apresentação e armazenamento dos dados;
- Ensaios

O conteúdo gerado tanto na primeira quanto na segunda fase serão transformados em aulas das disciplinas de caráter prático da trajetória Mecatrônica e possibilitará que os alunos do Curso de Engenharia Mecânica estudem, etapa por etapa, o desenvolvimento deste sistema e, além disso, analisem os resultados do ponto de vista de erros de medição envolvidos. A seguir, serão apresentados os principais componentes utilizados neste desenvolvimento.

3 PRINCIPAIS COMPONENTES DO SISTEMA

O sistema é composto basicamente por (a) uma placa de aquisição de sinais, (b) uma placa condicionadora de sinais, (c) sensores de temperatura de tipo termopar e (d) um computador. O diagrama esquemático do sistema é apresentado na Figura 1. Além das conexões físicas, é necessário desenvolver um software para tratar os dados coletados. Tais componentes serão descritos com detalhes a seguir.

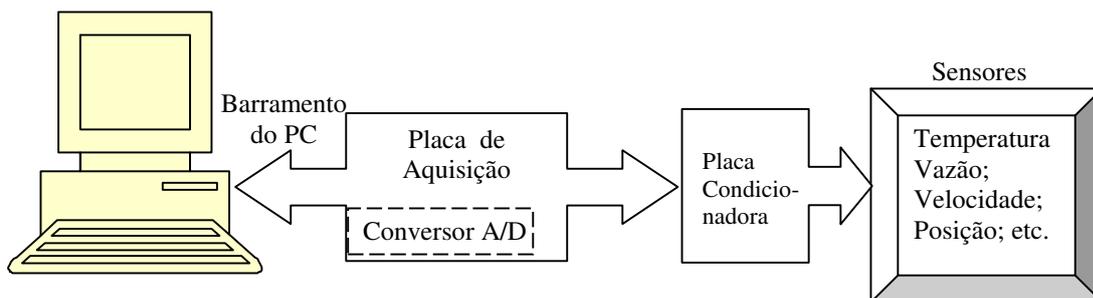


Figura 1 : Principais Componentes do Sistema de Medição

3.1 Sistema de Aquisição de Sinais

A utilização de uma placa de aquisição de sinais inserida no barramento do PC possibilita que os dados captados pelos sensores acoplados ao processo sejam transmitidos para o computador. A placa, que funciona como uma interface entre os sensores e o computador, converte sinais analógicos gerados pelos sensores para o formato digital, ou seja, na forma que o computador possa aceitar. A vantagem deste tipo de arquitetura, onde a placa é inserida

diretamente no barramento do PC, é a velocidade e o custo (porque não exige uma caixa e a alimentação é fornecida pelo PC). Devido à limitação de espaço dentro do PC, existe um número máximo de placas que podem ser utilizadas.

O conversor analógico-digital ou simplesmente conversor A/D é a parte mais importante do sistema de aquisição. No mundo real, a maior parte das grandezas que desejamos medir está na forma analógica, ou seja, são sinais contínuos ao longo do tempo. Estes sinais precisam ser convertidos para a forma digital para serem transmitidos para o microcomputador. O conversor A/D é então usado para converter a tensão vinda do sensor em palavras digitais.

O sinal digital é um sinal quantizado, ou seja, pode assumir somente um número finito de valores. Uma palavra digital de 8 bits, por exemplo, pode ter no máximo 256 valores, isto é, $2^8 = 256$. O código usado para representar a relação entre o sinal analógico e o digital é uma decisão feita pelo fabricante do dispositivo A/D. O código mais simples é o unipolar, que é a representação de um sinal analógico unipolar por um número binário sem sinal, [OZKUL, 1996]. Como exemplo, suponha que a faixa de 0 a 5V está sendo representada por uma palavra digital de 3 bits, utilizando-se para isso um conversor de 3 bits. Embora os conversores disponíveis comercialmente possuam no mínimo 8 bits, este exemplo, com um número menor de bits, facilita a compreensão do seu funcionamento.

Conforme apresentado na Tabela 1, uma tensão de 0V corresponde à palavra digital 000 e uma tensão de 5V corresponde a 111. Para este conversor de 3 bits, o passo de quantização é de 5/7. De uma forma geral, para um conversor de n bits o passo de quantização, Q_{step} , é dado pela Equação 1.

$$Q_{step} = \frac{V_{max} - V_{min}}{2^n - 1} \quad (1)$$

Tabela 1- Conversor de 3 bits

Tensão (volts)	Valor digital	Decimal equivalente
0,00	000	0
0,71	001	1
1,43	010	2
2,14	011	3
2,86	100	4
3,57	101	5
4,29	110	6
5,00	111	7

Como pode ser visto na Tabela 1, o erro de quantização pode ser no máximo do tamanho do passo de quantização usualmente denominado de LSB (bit menos significativo). Um conversor A/D é especificado em bits. O número de bits define a resolução (quantização), que é a menor variação de tensão que o conversor A/D pode distinguir.

3.2 Condicionador de Sinais

O sinal proveniente de um sensor nem sempre é adequado para entrada direta na placa de aquisição. Há então a necessidade de condicionar este sinal para que ele possa ser entregue à etapa seguinte, que é geralmente a etapa de conversão analógico-digital. Algumas operações de condicionamento de sinais comumente encontradas são: a conversão de tensão para

corrente; a conversão de corrente para tensão; a amplificação do sinal, e a filtragem (filtro passa baixa, filtro passa alta).

No caso em questão, será utilizado um condicionador que amplifique o sinal do sensor, que é na faixa de milivolts, para a faixa de 0 a 10 volts.

3.3 O Computador e o Software de Aquisição

O computador é o último elemento físico de um sistema de aquisição de sinais. A principal função do computador é ler a saída do conversor A/D. Esta palavra digital deve então ser processada pelo software de aquisição, desenvolvido especialmente para isso, para que alguma ação seja tomada. Normalmente, o software é desenvolvido para executar as seguintes tarefas: (a) transformar a palavra digital para o formato numérico original, ou seja, tensão(ou corrente); (b) implementar a curva de calibração do sensor, para que se possa transformar o valor da tensão (ou corrente) para o valor da grandeza medida pelo sensor; (c) exibir os dados na tela do computador em forma de tabela ou gráfica, ou o armazenamento em um arquivo.

3.4 O Sensor

Os sensores são componentes do sistema que transformam uma variável física em grandezas elétricas (tensão, corrente, resistência, pulsos, etc.). Geralmente, transformam uma determinada forma de energia em outra. Como exemplos de grandezas físicas podem-se destacar: a temperatura, a umidade, a velocidade, viscosidade de um óleo, a pressão exercida por uma coluna de líquido, etc. [SOLE,1999].

4 CONFIGURAÇÃO DA PLACA DE AQUISIÇÃO

A placa de aquisição utilizada apresenta uma aplicação bem mais ampla que esta aqui apresentada, pois apresenta também saídas analógicas e digitais que podem ser utilizadas para automação e controle. No entanto, como tais saídas não serão utilizadas neste projeto, as mesmas não serão discutidas, e a seguir, são listadas somente as principais características da placa de aquisição que têm importância para este projeto [COMPUTERBOARDS, 2000a].

- Pode ser configurada para apresentar 8 canais diferenciais ou 16 canais de terminação simples;
- O conversor A/D é de 12-bits, portanto, a resolução é de 12 bits;
- As faixas de tensão de entrada que podem ser utilizadas são: (a) $\pm 10V$, (b) $\pm 1V$ ou (c) 0 a 10V; (d) 0 a 1V.
- Taxa máxima de conversão de 160kHz

A seguir, são apresentados os principais itens de configuração da placa.

4.1 Configuração do Endereço base

Antes de instalar fisicamente a placa no barramento do computador, é necessário especificar um endereço para a placa de aquisição que não entre em conflito com as outras placas do computador. É através deste endereço que o computador se comunica com a placa de aquisição. Uma faixa de endereços é reservada exclusivamente para esta finalidade, e se inicia no endereço 300H. Portanto, a placa pode ser configurada com o endereço base 300H. Esta configuração é feita por hardware, na própria placa de aquisição, onde uma chave seletora possibilita a escolha de um dos vários endereços disponíveis.

4.2 Seleção de Número de Canais

As entradas analógicas da placa podem ser configuradas para 8 canais diferenciais ou 16 canais não-diferenciais. Usando entradas não-diferenciais, tem-se mais canais de entrada analógica disponíveis para conectar os sinais. Usando os canais diferenciais, a qualidade do sinal é melhor e com menos ruídos de medição. Esta configuração é feita por hardware, na própria placa de aquisição, onde uma chave seletora possibilita a escolha entre 8 ou 16 canais.

4.3 Seleção da Faixa de Medição

A configuração da faixa de medição também é feita por um chaveamento no hardware da placa. A Tabela 2 apresenta as várias possibilidades de escolha.

Tabela 2 – Faixa de Medição

Faixa Bipolar	Faixa Unipolar
$\pm 10V$	0-10V
$\pm 1V$	0-1V
$\pm 10V$	0-10V
$\pm 5V$	0-5V

5 MEDINDO TENSÃO ELÉTRICA

Na primeira fase do desenvolvimento deste experimento, a placa é utilizada para medir uma tensão elétrica, que pode variar entre 0 a 10 volts. Antes de se instalar fisicamente a placa de aquisição no barramento do PC, é necessário executar a sua configuração via hardware, conforme apresentado no item anterior. A placa foi configurada para um endereço base de 300H, para ler tensão unipolar não-diferencial numa faixa de 0 e 10 volts. Após a configuração via hardware, a placa é conectada ao barramento do PC.

A configuração da placa via software é feita por um programa chamado InstaCal, fornecido pelo fabricante da placa. Com este software é possível visualizar toda a configuração da placa e testar o seu funcionamento.

5.1 Programação da placa

Após a instalação e configuração da placa, é necessário desenvolver um programa computacional para se coletar os dados e então, trata-los da maneira desejada. Neste experimento, o programa foi desenvolvido de duas formas diferentes, utilizando a linguagem de programação Pascal e também utilizando o pacote computacional LabView.

O fabricante fornece uma função que torna mais fácil desenvolver o programa para obter o valor do dado lido no canal especificado. No caso em questão, esta função é denominada `cbAin` [COMPUTERBOARDS, 2000b], e é compatível com diversas linguagens computacionais, entre elas, o pascal e apresenta a seguinte sintaxe:

`cbAin (número da placa, número do canal, faixa, valor lido em hexadecimal)`

Os dados de entrada que esta função necessita são: o número da placa, o número do canal utilizado e a faixa de medida. Estes dados são obtidos pelo software Instacal e devem ser utilizados no programa desenvolvido pelo usuário. Ao se executar a função `cbAin` obtém-se

como resposta o valor da palavra digital que está naquele instante na saída do conversor A/D, que é um valor em hexadecimal e representa o valor de tensão conectado no canal especificado (Valor_Hex). Obtido este dado, é necessário convertê-los para volts, o que pode ser feito implementando no programa a Equação 2.

$$Tensão (v) = \frac{(Valor_Max - Valor_Min) * Valor_Hex}{2^{12}} + Valor_Min \quad (2)$$

onde,

- Valor_Max é o máximo valor de tensão que o canal de medição suporta (conforme configuração realizada anteriormente),
- Valor_Min é o mínimo valor de tensão que o canal de medição suporta,
- Valor_Hex é o valor da tensão medida, em hexadecimal.

O fluxograma apresentado na Figura 2 mostra a seqüência de um programa de leitura de um canal, utilizando a função cbAin e fazendo a conversão para volts.

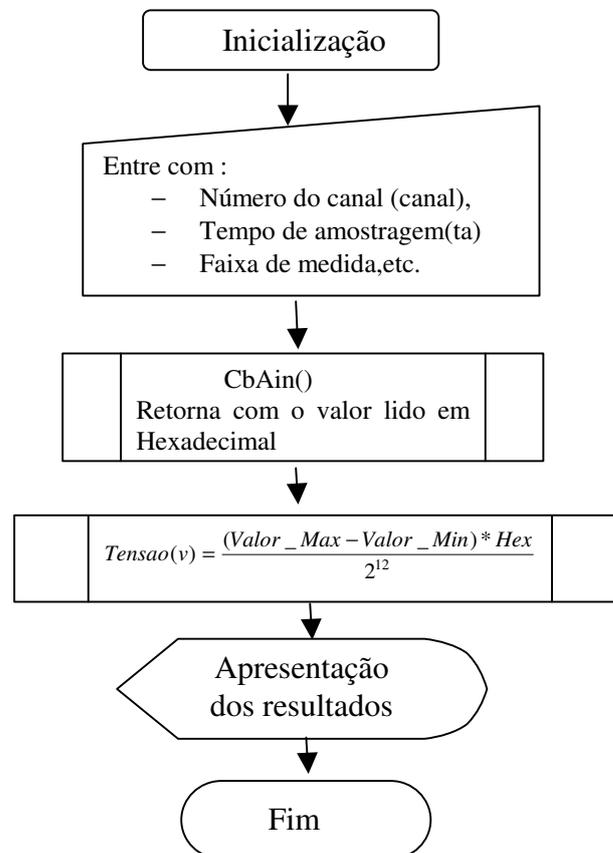


Figura 2: Fluxograma do Programa Desenvolvido

6 SISTEMA DE MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

Para se medir temperatura, utilizando termopares, é necessário acrescentar ao sistema apresentado anteriormente uma placa condicionadora de sinais, que irá amplificar o sinal enviado pelo termopar para uma faixa adequada. A placa condicionadora utilizada apresenta um seletor de ganhos, Figura 3, onde os ganhos selecionados são somados para se obter o

ganho de amplificação final [COMPUTERBOARDS, 2000c]. Para a maioria das aplicações com termopar, o ganho deve ser ajustado para pelo menos 100.



Figura 3 : Seletor de Ganhos

A placa condicionadora possui também um sensor de temperatura para medir a temperatura na região dos terminais onde os termopares são conectados. Essa temperatura é chamada temperatura de junta fria, e é utilizada para calcular a temperatura correta medida pelo termopar [SOLE, 1999]. A temperatura de junta fria é uma informação que tem que ser enviada para a placa de aquisição e portanto é necessário conectar fisicamente a saída deste sensor à um canal da placa. Foi escolhido para isso o canal 7.

O software Instacal é utilizado novamente e desta vez deve-se acrescentar que além da placa de aquisição também está sendo utilizada a placa condicionadora. Na Figura 4 pode-se observar a tela de configuração no Instacal, que apresenta a lista de placas inseridas no barramento do PC.

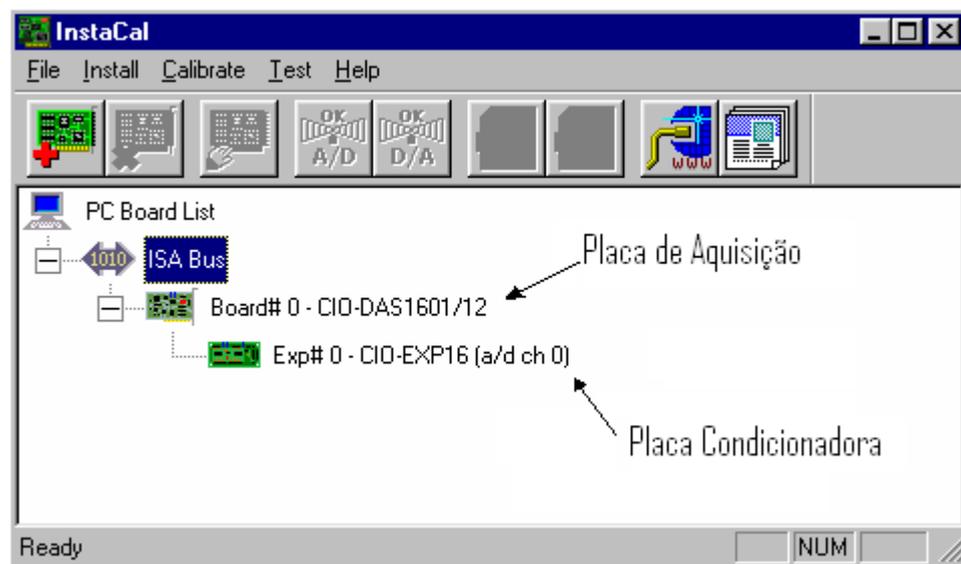


Figura 4 : Tela de Apresentação do Software Instacal

É necessário informar ao Instacal qual o tipo de termopar que será utilizado. Com esta informação, e juntamente com a função, fornecida pelo fabricante, utilizada para medição de temperatura, os dados lidos são transformados para temperatura. A sintaxe desta função é:

`cbTin(número da placa, número do canal, escala, valor da temperatura, opções)`

Os dados necessários para a execução da função cbTin são : número da placa, número do canal onde o termopar está conectado, a escala de temperatura desejada e o tipo de termopar. Com tais dados, a função cbTin recebe os dados que estão no canal especificado (em hexadecimal) e o transforma em tensão e sem seguida, utiliza a curva de calibração apropriada, e transforma o dado em tensão para temperatura. [SOLE,1999]. Na Figura 5 é apresentada a tela de configuração do tipo do termopar e do valor do ganho da placa condicionadora.

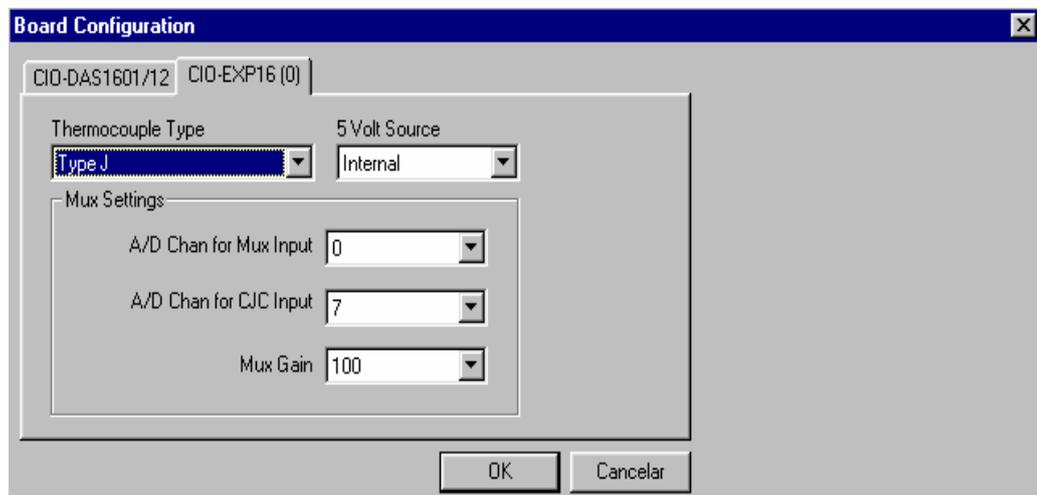


Figura 5: Tela de Apresentação do Instacal – seleção do termopar

6.1 Programação

O programa para medição de temperatura segue o fluxograma apresentado na Figura 6.

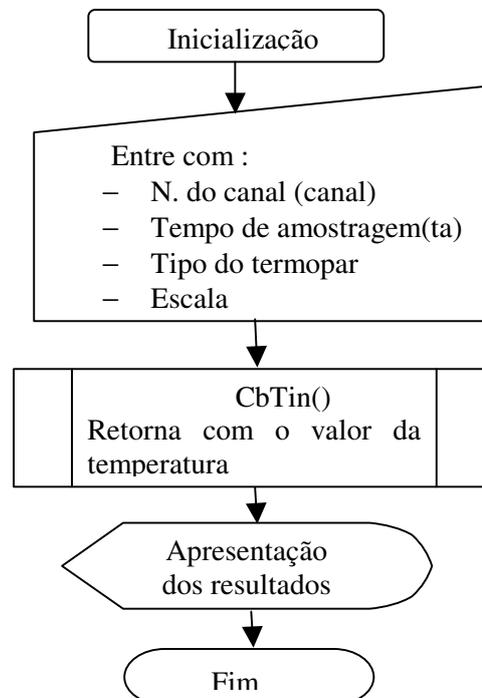


Figura 6: Fluxograma do Programa Desenvolvido

Conectando termopares tipo J nos canais 1 e 2 da placa condicionadora e executando o programa desenvolvido é possível registrar a variação da temperatura ao longo do tempo. A Figura 7 apresenta a tela de resultados do programa desenvolvido.

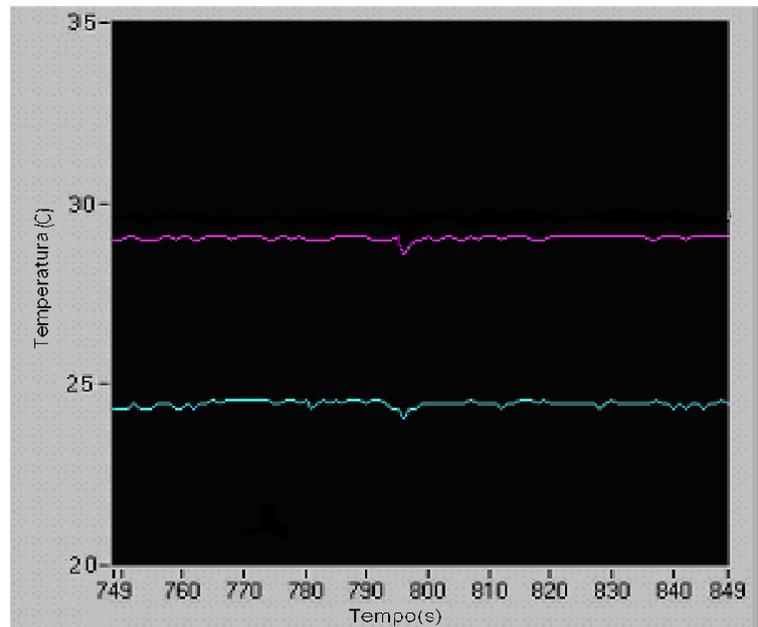


Figura 7 : Apresentação dos Resultados da Medição

7 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um sistema de medição automatizado implementado no Laboratório de Automação e Controle do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais. O sistema desenvolvido inclui uma placa de aquisição de sinais, sensores de temperatura e a programação do algoritmo de aquisição de dados. A montagem laboratorial desenvolvida possibilitará a implementação de aulas práticas nas disciplinas voltadas para a área de mecatrônica do curso de Engenharia Mecânica da UFMG. O experimento permite apresentar todas as etapas envolvidas no processo de medição de uma grandeza, ou seja, a conversão da grandeza medida para um código digital, a conversão deste código novamente para tensão, e a implementação da curva de calibração do sensor, transformando o dado para a unidade da grandeza que está sendo medida. Além destes objetivos principais, outros secundários podem ser também explorados, como por exemplo, o levantamento dos erros e incertezas inerentes a cada etapa do processo de medição.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COMPUTERBOARDS, **CIO-DAS1600 User's Manual**, Analog and Digital I/O Boards for ISA Bus, MA, USA: 2000.

COMPUTERBOARDS, **CIO-DAS1600 Universal Library Programmers Manual**, MA, USA: 2000.

COMPUTERBOARDS, **CIO-EXP User's Manual**, MA, USA: 2000.

OZKUL, T. **Data Acquisition and Process Control using Personal Computers**. NY, USA: M. Dekker, 1996.

SOLE, A. C. **Instrumentación Industrial**, Barcelona, Espanha: Editora Marcombo, 1999.

DEVELOPMENT OF LABORATORY EXPERIMENTS FOR TEACHING MEASUREMENT AUTOMATION IN MECANICAL ENGINEERING

Abstract: *This paper describes an experiment performed at the Automation and Control Laboratory of the Mechanical Engineering Department of the Federal University of Minas Gerais. Its main objective was to develop a real time experiment for teaching of automation and control techniques. The logical sequential of developing steps led to a set of experimental lectures that are being used in the Mechanical Engineering Program.*

Keywords: *Teaching Automation and Control, Data Acquisition Systems, Measuring Temperature.*