



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Pós-Graduação em Engenharia Civil

AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE CARREGAMENTO

EM ENSAIOS ESTRUTURAIS

Eng. FLÁVIO HIOCHIO SATO

1210001372



1372

Ilha Solteira - SP





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE CARREGAMENTO EM ENSAIOS ESTRUTURAIS

Eng. FLÁVIO HIOCHIO SATO

ANEXOS

Este CD é parte integrante da Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS – UNESP
NEPAE – Núcleo de Estudo e Pesquisa da Alvenaria Estrutural
<http://www.feis.unesp.br/dec/nepae>



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE CARREGAMENTO
EM ENSAIOS ESTRUTURAIS



Eng. FLÁVIO HIOCHIO SATO

Proc. 053/2003-NPD 043/03

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"	
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECARIA	
DATA DE CHEGADA	DATA DE TOMBO
04.04.03	30.04.03
REGISTRADO POR	TOMBO
Ailza	Te. 1372
AQUISIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
Ilha Solteira Autôn R\$ 10,00	S253a

OBS.: Acompanha CD

Orientador:

Prof. Dr. Jefferson Sidney Camacho

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Co. Sys - 187665
Sys - 54826

Ilha Solteira, Junho de 2002

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação/Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP-Ilha Solteira

S253a Sato, Flávio Hiochio
Automação do sistema de carregamento em ensaios estruturais / Flávio Hiochio Sato.
Ilha Solteira : [s.n.], 2002
ii, 72 p. : il. + 1 CD-ROM

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2002

Orientador: Jefferson Sidney Camacho
Bibliografia: p. 71-72

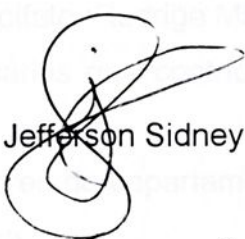
1. Engenharia de estruturas. 2. Alvenaria. 3. Pórticos estruturais. 4. Ensaios estruturais - Automação.

“AUTOMAÇÃO DO SISTEMA DE CARREGAMENTO DE ENSAIOS ESTRUTURAIS”

FLÁVIO HIOCHIO SATO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À FACULDADE DE ENGENHARIA DO
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA – UNESP – COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

COMISSÃO EXAMINADORA:


Prof. Dr. Jefferson Sidney Camacho – orientador


Prof. Dr. Marcio Roberto Silva Correa


Prof. Dr. José Carlos Rossi

Ilha Solteira/SP, junho de 2002.

BCpIS - FEIS - UNESP



Agradecimentos

A Deus, por conceder-me o dom da vida e a alegria de viver esse momento;
Aos meus pais (Mario e Maria), pelo apoio, amor e compreensão a cada dia;
Ao meu orientador professor Jefferson Sidney Camacho, não só pela orientação precisa, mas também pela amizade, incentivo e confiança em mim depositada.

Ao professor José Carlos Rossi, pela participação direta na minha co-orientação, pelo incentivo, amizade e presteza que sempre me atendeu;

Ao professor Alexandre e ao professor José Antonio Matthiesen, pelas inúmeras contribuições dadas a esse trabalho;

A minha esposa Elen, por todo amor, carinho, incentivo e apoio emocional demonstrados ao longo desse período;

Aos meus irmãos (Sonia e Sergio), por toda a amizade e companheirismo;

A todos os companheiros de laboratório, em especial o Gilberto, por todo apoio e amizade.

A todos os amigos da pós-graduação pela agradável convivência em especial, Wilson Silva, Rodrigo Andolfato, Rodrigo Mauricio, Marcio Martins;

A todos os funcionários que contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho.

A todos os professores do departamento da engenharia civil pela contribuição em minha formação técnica.

Índice

Lista de Figuras.....	i
1. Introdução	9
2. Objetivos	16
3. Adequação da bomba hidráulica elétrica	18
3.1. Bomba hidráulica elétrica.....	18
3.2. Cilindros de carga.....	19
3.3. Relés Elétricos.....	20
3.4. Motores de Passo acoplados às válvulas de Vazão e Pressão:	24
4. Construção do Circuito de Controle	26
5. Montagem do sistema de Ensaio	29
5.1. Descrição das Partes.....	29
5.2. Célula de Carga.....	30
5.3. Cilindro de Carga.....	30
5.4. Bomba Hidráulica Elétrica.....	31
5.5. Sistema de Aquisição DaqBook®.....	31
5.6. Micro-Computador.....	32
5.7. Painel de Controle da Bomba Hidráulica Elétrica:	32
6. Sistema de aquisição de dados.....	34
6.1. Célula de carga.....	34
6.2. Os Extensômetros Elétricos.....	35
6.3. Conversores analógicos/digitais (A/D).....	35
6.4. Estudo do sistema de aquisição de Dados.....	40
7. Desenvolvimento do Programa em Visual Basic ®.....	50
7.1. O Visual Basic®.....	50
7.2. O Programa.....	51
7.3. Funcionamento do programa.....	59
7.3.1. Tela do programa de controle.....	59
8. Resultados	64
9. Conclusões	68
10. Sugestões	70
11. Referencias Bibliográfica	71

Lista de figuras

Figura 1 - Ensaio de uma estrutura na década de setenta.	9
Figura 2 - Ensaio de um prédio dentro de um laboratório.	10
Figura 3 - Prensa para ensaios de corpos-de-prova de pequenas dimensões.	11
Figura 4 - Pórtico de reação.	12
Figura 5 - Extensômetro uniaxial.	13
Figura 6 - Célula de carga usual.	14
Figura 7 - Prensa universal de ensaios, Instron.	15
Figura 8 - Bomba hidráulica elétrica com motores de passo.	19
Figura 9 - Cilindros de carga de dupla ação.	20
Figura 10 - Relé eletromecânico.	21
Figura 11 - Motor de passo.	22
Figura 12 - Motores de Passo acoplados às válvulas de Vazão e Pressão.	25
Figura 13 - Circuito Integrado ULN2003®.	26
Figura 14 - Diagrama de Conexão entre o C.I. ULN2003® e o motor de passo.	26
Figura 15 - Esquema elétrico do Driver de um motor de passo.	27
Figura 16 - Circuito elétrico do foto-acoplador a um relé.	28
Figura 17 - Circuito de controle.	28
Figura 18 - Visão Geral do Sistema de Ensaio.	29
Figura 19 - Célula de Carga utilizada.	30
Figura 20 - Cilindro de Carga utilizado.	30
Figura 21 - Bomba Hidráulica Elétrica utilizada.	31
Figura 22 - Sistema de aquisição DaqBook ® e Dbk43A.	31
Figura 23 - Micro-computador utilizado.	32
Figura 24 - Painel de controle da bomba hidráulica elétrica.	33
Figura 25 - Esquema gráfico de uma célula de carga.	34
Figura 26 - Extensômetro elétrico uniaxial.	35
Figura 27 - Diagrama de Blocos do Daqbook.	37
Figura 28 - Configuração da pinagem da Conector P2 do Baqbook-120.	38
Figura 29 - Diagrama de Blocos do DBK43A – 8 Canais de Strain Gages.	39
Figura 30 - Inserção do Código de Programação.	44
Figura 31 - Uso das Funções ADC.	46
Figura 32 - Fluxograma do programa desenvolvido.	51
Figura 33 - Fluxograma de ajuste do pistão do cilindro de carga.	57
Figura 34 - Fluxograma de funcionamento do programa computacional.	58
Figura 35 - Tela do Programa de Controle.	59
Figura 36 - Tela de configuração dos módulos de strain-gages.	62



<i>Figura 37 - Layout da placa de circuito impresso do módulo de strain-gages</i>	<i>63</i>
<i>Figura 38 - Ensaio de Carregamento.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 39 - Gráfico de Carregamento x Tempo proposto.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 40 - Gráfico com ajuste do programa.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 41 - Gráfico de carregamento contínuo crescente proposto</i>	<i>67</i>
<i>Figura 42 - Gráfico de resposta do carregamento contínuo crescente.....</i>	<i>67</i>



Resumo

O desenvolvimento de sistemas capazes de monitorar e controlar determinadas ações estão sendo cada vez mais utilizados, de modo a permitir maior refinamento e confiança nos resultados obtidos. Na área instrumental de laboratório, às vezes surgem situações em que se deve ter um controle maior sobre o ensaio, fato que por vezes apresenta grandes dificuldades devido à falta de técnicos especializados ou de equipamentos mais sofisticados, que apresentam grandes custos.

Neste trabalho desenvolveu-se um sistema de automação de ensaios estruturais, capaz de controlar a velocidade de carregamento. O sistema é composto por um quadro isostático, cilindros de carga, bomba hidráulica elétrica e um sistema de aquisição de dados. Após uma análise detalhada do sistema chegou-se a conclusão que se poderia, com um custo relativamente baixo, aperfeiçoar o sistema, eliminando o controle manual do sistema.

A bomba hidráulica elétrica é o componente responsável pelo envio do óleo hidráulico ao sistema, possuindo um painel de controle onde se podem executar as operações de tração e compressão em corpos-de-prova. As velocidades desses carregamentos dependem basicamente de duas válvulas manuais nela inserida, a válvula de pressão e a válvula de vazão.

O sistema proposto substitui a forma manual de operação por um sistema controlado por computador, através de uma célula de carga e de um sistema de aquisição de dados, sendo possível, dessa forma, receber e enviar informações para todo o conjunto. Seu funcionamento foi baseado na retro-alimentação, o programa computacional desenvolvido é ajustado com parâmetros de velocidade, carregamento e tempo.

Inicialmente a informação parte da célula de carga e é enviada ao sistema de aquisição de dados, que transforma as informações em dados digitais; o computador processa as informações e de acordo com os ajustes iniciais faz as correções nos motores de passo acoplados às válvulas de pressão e vazão.

Abstract

The capable system developments to monitor and control determined actions are being each more used, such as allowing refinement and assurance in the obtained results. Sometimes in the laboratory instrumental area appear situations that it must have a major control over the test, and it shows big difficulties for times due to specialized technician or equipment lacking more sophisticated which show big costs.

This work developed an automation system of structural tests able to control the loading speed. The system is compound by isostatic frame, charge cylinder, electric hydraulic pump and a data system. After a system detailed analysis a conclusion that is, it should, with a relatively low cost, improve the system, eliminating the control system manual.

The electric hydraulic pump is the component responsible to send the hydraulic oil to the system, with panel control where it is executed traction operations and compressing in specimen. The speeds of this loading depend on two hand valve insert it basically, pressure and flow valves.

The proposed system shift the hand way of operation by a controlled system by a computer, through a load cell and a data system, is been possible, receive and send information to every set this way. Its work was based in back alimentation; the developed computacional program is adjusted with speed loading and time parameters.

Initially the information starts from a load cell and it is sent the data system, which change the information in digital data, the computer processes the information and according to the initial adjusts of the corrections in the coupled pitch engines to pressure and flow valves.



Desde os primórdios da ciência, pesquisadores vêm tentando reproduzir em laboratório o comportamento dos materiais e até mesmo de estruturas completas. No começo, muitos ensaios na área de estruturas eram realizados fora dos laboratórios, sobre encostas rochosas, fazendo o papel de lajes de reação, ou seja, os elementos de maior rigidez dos ensaios, utilizando peso morto para sobrecarregar as estruturas. A Figura 1 mostra um ensaio realizado por HENDRY (1998) na década de setenta.

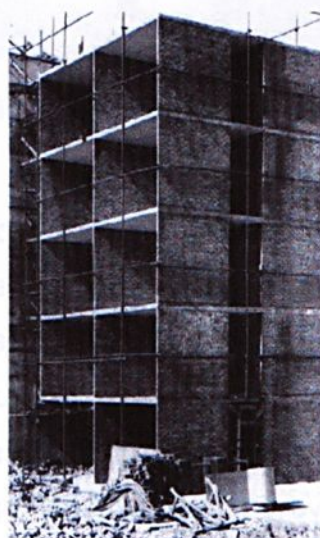


Figura 1 - Ensaio de uma estrutura na década de setenta.

Isto se devia ao fato de que naquela época os equipamentos eram precários e estavam começando a ser desenvolvidos, havendo a necessidade até mesmo da engenharia procurar desenvolver este avanço tecnológico. Prova disto é um estudo subsequente realizado por HENDRY (1998), num acordo entre o ministério da construção japonesa e o instituto americano de pesquisa da construção, sendo este estudo realizado em um laboratório de grandes dimensões e os ensaios realizados por aparatos mecânicos de carga, conforme mostra a Figura 2.

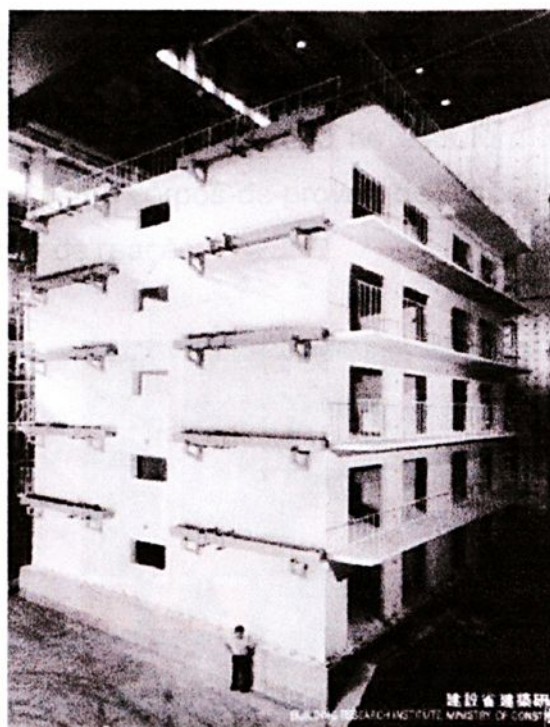


Figura 2 - Ensaio de um prédio dentro de um laboratório.

Comparando os dois processos de ensaio citados, fica claro que no segundo pode-se controlar de forma mais precisa as condições do ensaio. É evidente que a melhoria nos processos de ensaio leva a um maior entendimento do comportamento de um material ou de uma estrutura.

No início do século passado, os processos para a realização de ensaios consistiam na inserção de cargas nos corpos-de-prova sendo que estas cargas eram aplicadas dentro de um quadro isostático, bombeando-se manualmente um cilindro hidráulico preso a este.

Um quadro isostático configura-se em uma estrutura aporticada na qual somente os elementos estruturais que a compõem absorvem os esforços nela inserida. Isto significa dizer que a estrutura do quadro isostático não transfere esforços a qualquer outra estrutura sobre a qual ele esteja apoiado, como por exemplo, o solo. Sendo assim, com a utilização desse aparato dispensa-se o uso de laje de reação.

O quadro isostático é normalmente denominado de prensa de ensaios. Em geral as prensas de ensaio têm limitações bem definidas com relação às dimensões dos corpos-de-prova.

A Figura 3 mostra uma prensa de ensaios utilizada para corpos-de-prova de concreto, onde pode-se observar as limitações em relação aos corpos-de-prova a serem ensaiados. Por este motivo outro tipo de estrutura foi desenvolvido para a realização de ensaios em corpos-de-prova de grandes dimensões, sendo conhecidas como pórticos de reação.



Figura 3 - Prensa para ensaios de corpos-de-prova de pequenas dimensões.

Tais estruturas são fixadas através de conectores apropriados às lajes de reação, formando assim uma estrutura estaticamente equilibrada, e que por ter grandes dimensões permitem ensaios de grandes corpos-de-prova, tais como: paredes estruturais, grandes blocos de concreto, modelos de pórticos tridimensionais, coberturas em casca (Shell roofs), vigas de concreto, ou seja, todas as outras estruturas possíveis de serem ensaiadas na qual o uso de prensa de ensaios torna-se inadequada. A Figura 4 mostra um pórtico de reação.

Em décadas recentes, antes do advento dos extensômetros elétricos, e conseqüentemente da célula de carga, as cargas introduzidas tanto nos pórticos de reação quanto nas prensas de ensaios eram medidas através de manômetros analógicos, conectados as mangueiras de óleo, entre a bomba manual e os cilindros de carga.

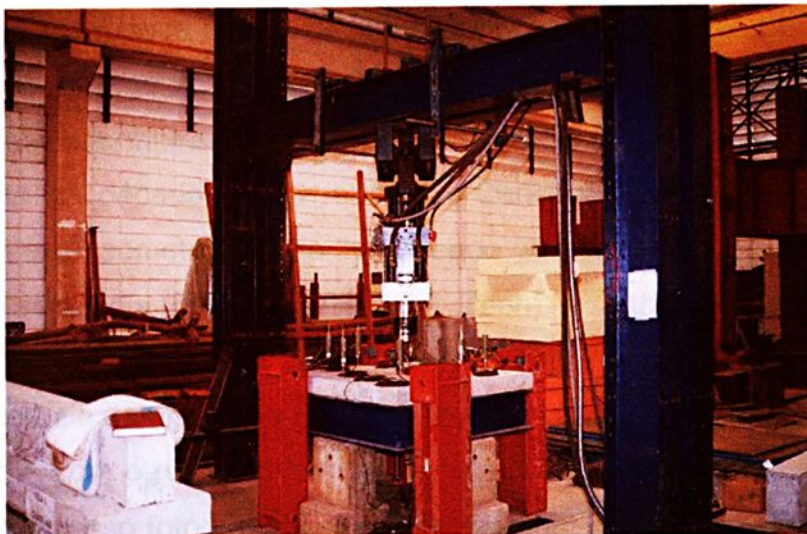


Figura 4 - Pórtico de reação.

Os processos de medidas dos deslocamentos e deformações têm sido, há muito tempo, um problema interessante na experimentação de estruturas em geral. Tais medidas levam o projetista a melhorar seus projetos e a entender melhor determinados comportamentos de sua estrutura. Como a experiência nos mostra, é fundamental o conhecimento dos métodos de medidas dos deslocamentos e deformações para quem deseja realizar experimentação estrutural.

Em 1856 o professor da Royal Society of London, William Thomson (LORD KELVIN) notou que a resistência elétrica de um condutor aumentava quando este era submetido a uma força de tração, e diminuía quando a força de tração diminuía. Esta descoberta só teve sua aplicação prática, para a realização de medidas com as experiências levadas a efeito pelo norte-americano P.W. Bridgman em 1923.

Desde 1870 vários tipos de instrumentos foram desenvolvidos para tais aplicações, na sua maioria utilizando amplificações mecânicas, usando dispositivos de alavancas, engrenagens, nônio ótico ou combinações desses princípios.

Os extensômetros elétricos de resistência, inicialmente usavam o carvão como elemento resistivo, consistia de uma pilha de pastilhas de carvão cuja resistência variava conforme se comprimia ou se aliviava esta pilha. Tais dispositivos apresentavam uma curva não linear com o deslocamento e ainda eram sensíveis à temperatura.

Somente por volta dos anos 20 é que se desenvolveram dispositivos mecânicos com precisão adequada e que ainda hoje são utilizados.

Ainda nessa época foram desenvolvidos os extensômetros acústicos e os elétricos, sendo que os acústicos utilizavam o princípio da corda vibrante (fio de aço), cuja frequência natural variavam com a tensão mecânica aplicada ao fio.

Somente na década de 30, que Roy Carlson (USA) utilizou o princípio na construção de extensômetros de fio livre, sendo que em 1938, Edward Simmons do Instituto de Tecnologia da Califórnia (Cal Tech) e Arthur Ruge do Instituto de Tecnologia de Massachussets (MIT) utilizaram pela primeira vez, fios metálicos colados à superfície de um corpo-de-prova para medidas de deformações.

Em 1952, com o rápido desenvolvimento da técnica de fabricação de circuito impresso por processo fotográfico, muito utilizado em eletrônica, a firma Saunders – Roe Company da Inglaterra, teve a idéia de utilizar o processo na fabricação de extensômetros elétricos de lâminas planas (foil). Esta tecnologia facilitou e permitiu a fabricação dos mais variados tipos de extensômetros com lâminas metálicas de até 2 microns de espessura.

Por volta de 1960, foram desenvolvidos novos tipos de extensômetros baseados em materiais semicondutores.

Os extensômetros transformam deformações específicas em diferença de potencial (DDP), utilizando a teoria que define que a resistência de um material elétrico (condutor) varia proporcionalmente com a relação comprimento/área, e deste modo consegue-se medir deformações bem pequenas, comparadas às deformações lidas por um relógio comparador.

Com os extensômetros elétricos tornou-se possível medir deformações de elementos muito rígidos, que eram impraticáveis com a utilização de relógios comparadores, por mais precisos que fossem, e ainda transformavam uma variável física em um sinal elétrico analógico. A Figura 5 mostra um extensômetro elétrico uniaxial comumente comercializado.

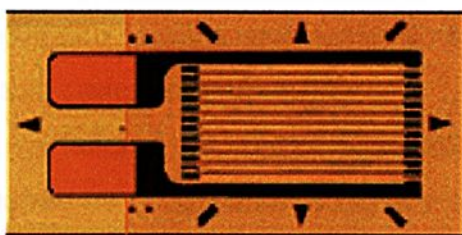


Figura 5 - Extensômetro uniaxial.

Porém desde essa época até os dias atuais, os relógios comparadores são utilizados para medir deformações nos corpos-de-prova, e os extensômetros elétricos foram mais intensamente usados na fabricação de um instrumento que pudesse ler com precisão as cargas que eram impostas nos ensaios. Estes instrumentos são conhecidos como células de carga. A Figura 6 mostra uma célula de carga.



Figura 6 - Célula de carga usual.

A célula de carga serviu como um propulsor tecnológico na obtenção dos valores de carga e conseqüentemente da automação de equipamentos para ensaios de resistência mecânica dos materiais, bem como de balanças de precisão entre outros. Por algum motivo, esta automação ficou relegada às prensas universais de ensaio, ficando os pórticos de reação em segundo plano.

A evolução das prensas de ensaio primeiramente aconteceu de forma analógica através de circuitos elétricos que transformavam as deformações das células de carga nas cargas efetivas do ensaio, que eram mostrados em relógios analógicos, e a precisão dependia, também, da pessoa que realizava a leitura, entre outros fatores que influenciavam na acurácia e precisão na obtenção dos dados.

Com o advento do computador e dos circuitos digitais restava ainda o desenvolvimento de um aparelho que transformasse os sinais analógicos em sinais digitais, que é conhecido hoje como conversor A/D.

A partir de então, as leituras de deformação feitas nas células de carga, alimentavam com informações os controladores digitais e assim se deu à evolução dos primeiros quadros isostáticos de ensaios, para as modernas prensas universais de ensaios, que ainda hoje não são comumente encontradas nos laboratórios de pesquisas, devido ao seu alto custo.

A Figura 7 apresenta uma prensa universal de ensaios de última geração localizada na cidade de São Carlos no Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade de São Paulo.

Um fato importante é que, mesmo com a evolução tecnológica, os relógios comparadores continuam sendo utilizados.

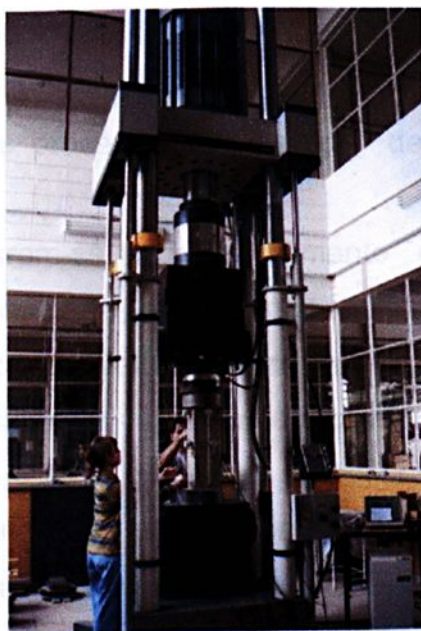


Figura 7 - Prensa universal de ensaios, Instron.

Uma outra característica, que não chega a ser um problema, mas que limita a utilização das prensas de ensaio, prende-se ao fato de que as mesmas possuem propriedades intrínsecas em seu projeto, tal qual a dimensão dos cilindros de carga nela instalados que muitas vezes limitam os corpos-de-prova de menores resistências. Para resolver tal problema de operação, estas prensas deveriam permitir a troca dos cilindros, o que é impraticável, ou possuir uma bomba elétrica com controle total da velocidade de injeção de óleo no cilindro.

Apesar dos pórticos de reação serem estruturas de grande porte, os mesmos são formados por módulos que facilitam o seu deslocamento quando comparado com uma prensa de ensaio, formada por um único conjunto. Um dos módulos do pórtico de reação é exatamente o cilindro hidráulico, e desta forma sua escolha para cada tipo de ensaio se torna uma necessidade, sendo esta uma das principais vantagens desse tipo de estrutura de ensaio. Contudo, a automação desses pórticos ficou relegada a segundo plano até o momento.

O objetivo deste trabalho consistiu-se em produzir uma interface entre o equipamento de ensaio, no caso pórticos de reação, e um micro-computador do tipo PC, comumente encontrado em qualquer laboratório de pesquisa, e ainda desenvolveu-se um programa para a exibição dos resultados obtidos e a partir desta interface automatizou-se os processos de inserção de carregamentos, via retro-alimentação.

Com isso minimizaram-se significativamente os efeitos causados por variações nas velocidades de carregamento, que, quando controlado manualmente não oferece boa precisão, pois, a velocidade de carregamento é uma das principais variáveis na obtenção das cargas e da forma de ruptura de muitas estruturas.

De forma a obter um sistema que possa controlar eficientemente a velocidade de introdução de carregamento em pórticos de reação, as seguintes etapas foram programadas e desenvolvidas ao longo desse trabalho:

- ✓ A primeira etapa foi à adequação de uma bomba elétrica de óleo existente no Laboratório de Engenharia Civil da Unesp - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, com a adaptação de dois motores de passo que controlam fisicamente a abertura e fechamento da válvula de pressão e da válvula de vazão de óleo.
- ✓ A segunda etapa foi à construção de um circuito eletrônico para a comunicação entre o sistema de aquisição de dados, os motores de passo e o painel de controle, ou seja, uma placa de circuito impresso com os componentes necessários para o correto funcionamento da bomba.
- ✓ A terceira etapa foi o estudo do sistema de aquisição de dados da marca Iotech® modelo DaqBook® 120 e o módulo DBK 43A®, que consiste em um sistema de leitura de 8 canais para strain-gages, para a correta utilização do driver disponível pela empresa para se desenvolver softwares para a aquisição e tratamento de dados.

- ✓ A quarta etapa foi o desenvolvimento de um programa em Visual Basic® para o tratamento dos dados e controle da velocidade de carregamento através da abertura ou fechamento das válvulas presentes na bomba, sendo os parâmetros de ensaio definidos pelo usuário, tal como tipo de cilindro, velocidade de carregamento, entre outros.



3

Adequação da Bomba Hidráulica Elétrica

A atual configuração da bomba elétrica utilizada na aplicação de cargas em cilindros hidráulicos existente no Laboratório opera através de acionamento manual. Em uma das operações é controlada a inserção ou alívio de carga, e em outra operação consiste em ajustar a vazão de entrada de óleo no cilindro, sendo esta responsável pela velocidade de carregamento.

Existe ainda uma válvula que controla a pressão máxima do sistema, sendo utilizada para que a pressão no cilindro nunca supere a máxima permitida no mesmo.

Foram instalados relés elétricos que comandam o acionamento da bomba bem como controle do sentido do fluxo no cilindro, possibilitando ensaios de tração, compressão.

Foram também instalados dois motores de passo, um para o controle do fechamento e abertura da válvula de vazão da bomba, sendo este motor o responsável pela velocidade de carregamento do cilindro, e o outro motor de passo faz a regulação da pressão máxima na bomba, sendo esta função do cilindro utilizado, garantindo, assim, que o sistema não ultrapasse o limite de operação do cilindro.

O sistema do pórtico de reação consiste em uma estrutura fixada na laje de reação contendo os cilindros de carga. Estes cilindros são os responsáveis pela transformação de pressão em força aplicada, ou seja, o controle da vazão no sistema influencia diretamente no controle da força total inserida no sistema.

3.1. BOMBA HIDRÁULICA ELÉTRICA

A bomba de óleo é constituída por um reservatório e um motor elétrico. Este motor leva o óleo até os cilindros de carga com vazão e pressão controladas.

Toda a operação da bomba é controlada através de um programa computacional, ou seja, via software.



O motor de passo que foi instalado na válvula do controle de vazão, possibilitando o controle do fluxo de óleo no sistema através de retro-alimentação de dados, ou seja, o sistema computacional receberá informações provenientes da célula de carga e comparando estas informações com um incremento de tempo definido, será capaz de avaliar a velocidade de carregamento e desta forma controlará a abertura ou fechamento da válvula de vazão.

Outro motor de passo será instalado na válvula de controle de pressão, a qual limitará a pressão máxima no sistema, através de dados iniciais sobre o cilindro de carga utilizado no ensaio. A Figura 8 apresenta a bomba hidráulica elétrica com os motores de passo acoplados nas respectivas válvulas.

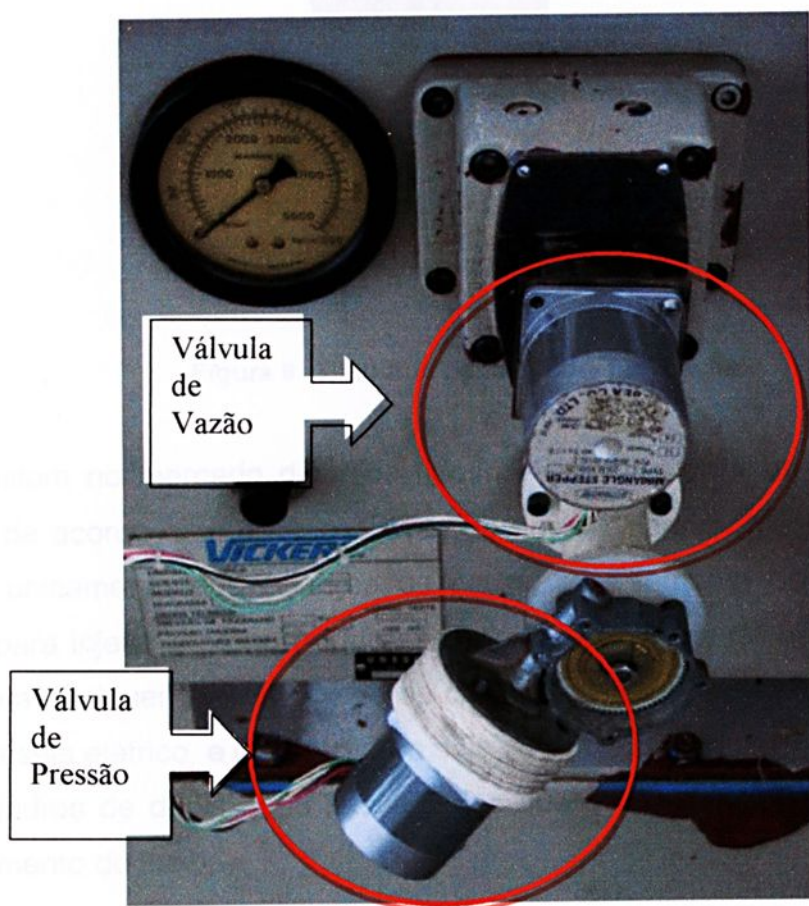


Figura 8 - Bomba hidráulica elétrica com motores de passo.

3.2. CILINDROS DE CARGA

Os cilindros de carga são os responsáveis pela aplicação da força diretamente ao corpo-de-prova que será ensaiado, a força é originada da bomba elétrica.

O pistão existente no cilindro tem uma área que fica em contato com a pressão existente no sistema, essa pressão varia conforme o volume de óleo no recipiente do cilindro. O óleo hidráulico existente no cilindro é função da vazão do mesmo inserido pela bomba. A Figura 9 apresenta cilindros de carga normalmente utilizados nos sistemas de ensaio.



Figura 9 - Cilindros de carga de dupla ação.

Existem no mercado diversos tipos de cilindros para as várias finalidades, cada um de acordo com a necessidade do ensaio, sendo óbvio que o ensaio não depende unicamente dos cilindros de carga, mas também da bomba hidráulica utilizada para injetar óleo no cilindro. Entretanto o sistema de automação pode ser estendido a qualquer tipo de bomba ou cilindro de carga, desde que o acionamento da bomba seja elétrico, e que o cilindro seja de dupla ação.

Cilindros de dupla ação são aqueles que introduzem carregamento com bi-direcionamento do fluxo.

3.3. RELÉS ELÉTRICOS

São dispositivos auxiliares que permitem a manobra de sistemas elétricos de potência. O funcionamento dos relés é bem simples: quando uma corrente circula pela bobina, esta cria um campo magnético que atrai um ou uma série de contatos fechando ou abrindo circuitos.

Ao cessar a corrente da bobina o campo magnético também cessa, fazendo com que os contatos voltem para a posição original.

Os relés podem ter diversas configurações quanto aos seus contatos: podem ter contatos normalmente abertos (NA), normalmente fechados (NF) ou ambos, nesse caso com um contato comum ou central (C).

Os contatos NA são os que estão abertos enquanto a bobina não está energizada e que fecham, quando a bobina recebe corrente. Os NF abrem-se quando a bobina recebe corrente, ao contrário dos NA.

O contato central é o comum, ou seja, quando o contato NA fecha é com o ele que se estabelece a condução e o contrário com o NF. A principal vantagem dos relés é que o circuito de carga está completamente isolado do circuito de controle, podendo inclusive trabalhar com tensões diferentes entre controle e carga. A desvantagem é o fator do desgaste, pois em todo componente mecânico há uma vida útil.

Devem ser observadas as limitações dos relés quanto a corrente e tensão máxima admitida entre os terminais. Se não forem observados estes fatores, a vida útil do relé estará comprometida, ou até a do circuito controlado. A Figura 10 apresenta o desenho ilustrativo de um relé

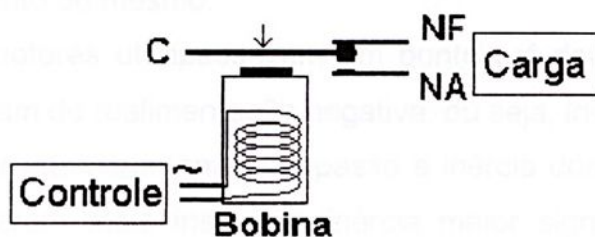


Figura 10 - Relé eletromecânico

3.3.1. MOTORES DE PASSO

O motor de passo é um transdutor que converte energia elétrica em movimento controlado através de pulsos, o que possibilita o deslocamento por incrementos de passo. O seu funcionamento pode ser comparado ao motor síncrono: um campo rotativo (neste caso gerado pela eletrônica de controle) que faz girar o campo magnético.

A Figura 11 mostra o motor de passo utilizado neste trabalho.

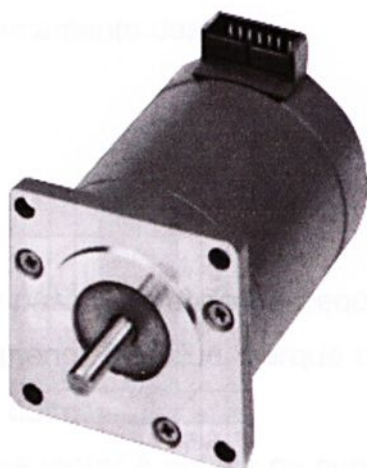


Figura 11 - Motor de passo.

Com o passar dos anos houve um aumento na popularidade desse tipo de motor, principalmente pelo seu tamanho, custos reduzidos e também pela total adaptação por controles digitais. Outra vantagem do motor de passo em relação aos outros motores é a estabilidade. Para se obter uma rotação específica de um certo grau, calcular-se-á o número de rotação por pulsos, o que possibilita uma boa precisão no movimento do mesmo.

Os antigos motores ultrapassavam um ponto pré-determinado de parada e para voltar precisavam de realimentação negativa, ou seja, inversão de polaridade.

Por não girar em incrementos de passo a inércia dos antigos motores eram maiores, e assim eram mais instáveis, inércia maior significa continuar girando mesmo que cesse a fonte de alimentação, não podendo prever seu ponto de parada.

Como a inércia dos motores de passo é menor, a possibilidade deles ultrapassarem um ponto desejado é muito menor, mas ultrapassando podem facilmente voltar, pois são controlados por uma lógica digital.

3.3.2. FUNCIONAMENTO DOS MOTORES DE PASSO

Normalmente os motores de passo são projetados com enrolamento de estator polifásico, o que não foge muito dos demais motores. O número de pólos é determinado pelo passo angular desejado por pulsos de entrada.

Os motores de passo têm alimentação externa. Conforme os pulsos na entrada do circuito de alimentação, este oferece correntes aos enrolamentos corretos para fornecer o deslocamento desejado.

3.3.3. CARACTERÍSTICAS

O torque do motor de passo depende da frequência aplicada à alimentação. Quanto maior a frequência, menor o torque, porque o rotor tem menos tempo para mover-se de um ângulo para outro.

A faixa de partida desse motor é aquela na qual a posição da carga segue os pulsos sem perder os incrementos de passo.

A faixa de giro é aquela na qual a velocidade da carga também segue a frequência dos pulsos, mas com uma diferença: não pode partir, parar ou inverter independente do comando.

3.3.4. TIPOS DE MOTORES DE PASSO

Os motores de passo são subdivididos nos seguintes grupos:

- **RELUTÂNCIA VARIÁVEL:** Apresenta um rotor com muitas polaridades constituídas a partir de ferro doce, apresenta também em estator laminado.

Por não possuir ímã, quando energizado, apresenta torques estáticos nulo, tendo assim, baixa inércia de rotor, não podendo ser utilizado com carga inercial grande.

- **IMÃ PERMANENTE:** Apresenta um rotor de material AlNiCo ou ferrite e é magnetizado radialmente, razão do qual o torque estático não ser nulo.
- **HÍBRIDOS:** É uma mistura dos dois anteriores e apresenta rotor e estator multidentados. O rotor é de ímã permanente e magnetizado axialmente. Apresenta grande precisão (3%), boa relação torque/tamanho e ângulos pequenos (0,9 e 1,8 graus). Para que o rotor avance um passo é necessário que a polaridade magnética de um dente do estator se alinhe com a polaridade magnética oposta de um dente do rotor.



Foram utilizados neste trabalho motores de passo híbridos com 1,8 graus de precisão por incremento de passo, pois este tipo de motor apresenta precisão adequada para as finalidades propostas.

3.3.5. APLICAÇÕES

Como os motores de passos têm movimentos precisos, qualquer equipamento que necessite de precisão no movimento deles se utilizam. Pode-se citar por exemplo o controle de micro-câmeras num circuito interno de vigilância.

3.3.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Em relação aos antigos motores, o motor de passo apresenta evidentes vantagens, como tamanho e custo reduzidos, total adaptação à lógica digital (o que permite o controle preciso da velocidade, direção e distância), características de bloqueio, pouco desgaste e dispensa realimentação.

São poucas as desvantagens, mas elas existem: má relação potência-volume e principalmente controle relativamente complexo.

3.4. MOTORES DE PASSO ACOPLADOS ÀS VÁLVULAS DE VAZÃO E PRESSÃO:

Foram confeccionadas peças metálicas e de PVC para que os motores de passo pudessem ser colocados na bomba hidráulica, sem que a mesma não sofresse alterações nas características originais, e que facilitasse sua retirada para o funcionamento manual das válvulas.

No motor de passo acoplado na válvula de pressão houve a necessidade de se colocar uma amplificação de força, pois o motor não tinha torque suficiente para movimentar o eixo da respectiva válvula.

Na válvula de vazão somente o motor de passo foi suficiente para o funcionamento da mesma.

A Figura 12 mostra o acoplamento efetuado dos motores de passo e a redução colocada na válvula de pressão.

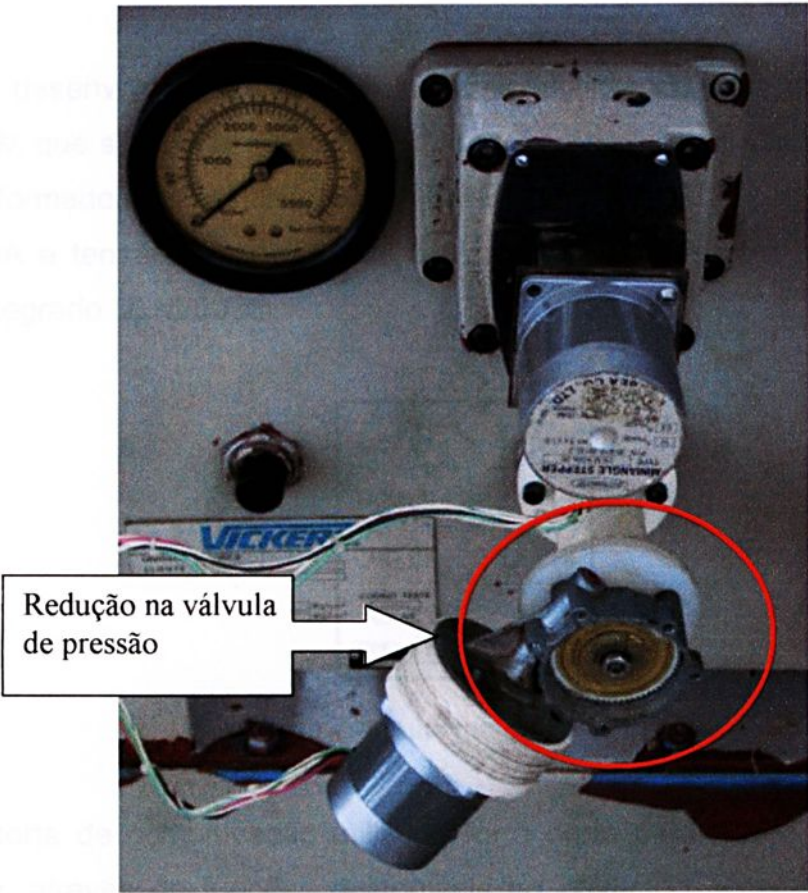


Figura 12 - Motores de Passo acoplados às válvulas de Vazão e Pressão

4

Construção do Circuito de Controle

Foi desenvolvido um circuito eletrônico utilizando dois circuitos integrados ULN2003®, que são buffers não inversores de potência com elevada capacidade de corrente, formados por amplificadores Darlington NPN de 7 bits de entrada TTL e 50V/500mA e tensão de entrada de 5 V. A Figura 13 mostra o diagrama de um circuito integrado ULN2003®.

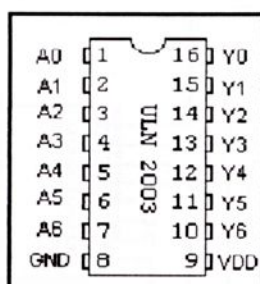


Figura 13 - Circuito Integrado ULN2003®.

A porta de comunicação utilizada foi a porta paralela do micro-computador que envia, através de funções disponíveis no driver do sistema de aquisição de dados, os bits necessários para a manipulação dos motores de passo correspondentes. A Figura 14 mostra a conexão entre a saída do sistema de aquisição de dados, o circuito integrado ULN2003® e os enrolamentos do motor de passo.

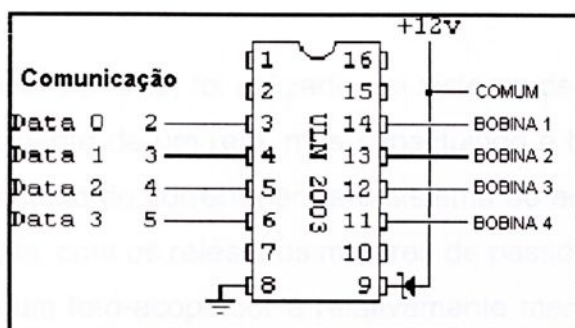


Figura 14 - Diagrama de Conexão entre o C.I. ULN2003® e o motor de passo.

O circuito de controle foi construído para a comunicação com o sistema de aquisição de dados, que recebe três palavras de 4 bits, uma para o sistema de controle do painel, uma para o controle do motor de passo da válvula de vazão e outra para o controle do motor de passo da válvula de pressão.

A fonte do circuito de controle utilizado foi de 12 volts com uma corrente de 3A. Cada motor de passo é controlado por um driver, utilizando um circuito integrado ULN2003®, como mostrado na figura abaixo:

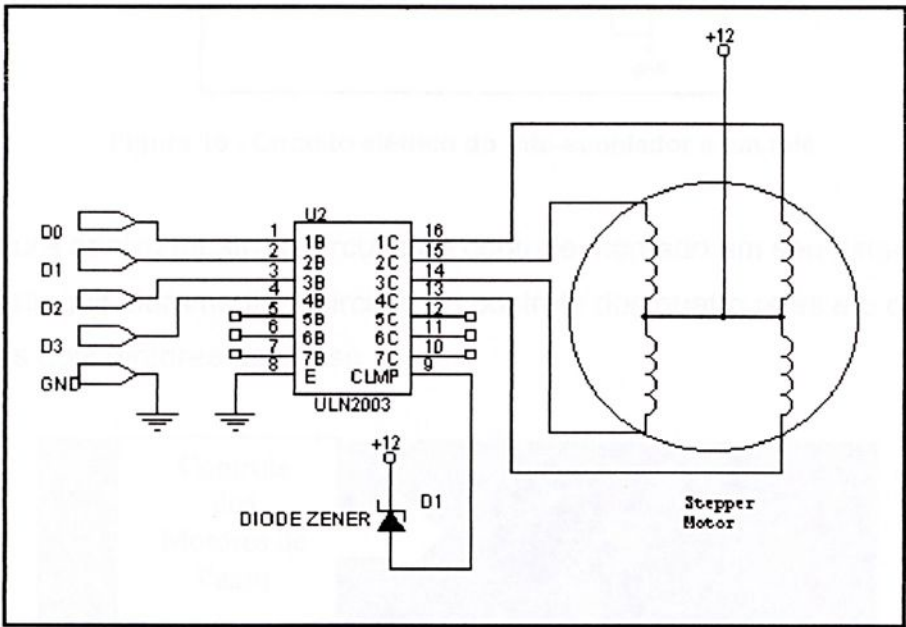


Figura 15 - Esquema elétrico do Driver de um motor de passo

O sistema de aquisição de dados trabalha com circuitos TTL, ou seja, com uma voltagem de 0 volts (equivalente digital 0) ou 5 volts (equivalente digital 1) não devendo ser conectados diretamente a um sistema elétrico externo, pois este corre o risco de danificar.

Pelo motivo acima descrito, foi utilizado um sistema de acoplamento ótico, ou seja, como o funcionamento de um relé, mas substituindo a bobina por um feixe de luz, para que não haja fluxo de corrente entre o sistema de aquisição de dados, que utiliza no máximo 5 volts, com os relés e os motores de passo que trabalham com 12 volts, pois o custo de um foto-acoplador é relativamente menor que um sistema de aquisição de dados, caso venha a ser danificado.

A figura abaixo mostra um circuito eletrônico do foto-acoplador utilizado no sistema.

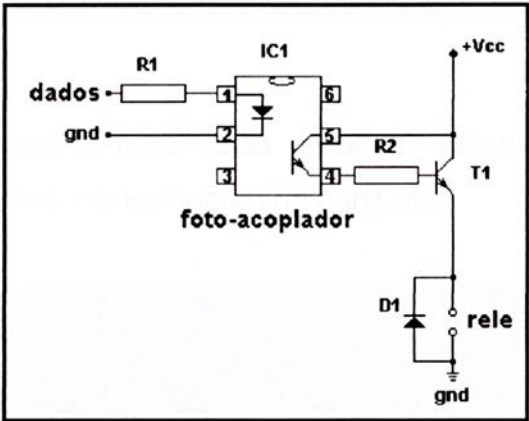


Figura 16 - Circuito elétrico do foto-acoplador a um relé

A figura abaixo mostra o circuito de controle montado em seu estado atual. Pode-se distinguir claramente o circuito de controle dos quatro relés e o circuito de controle dos dois motores de passo

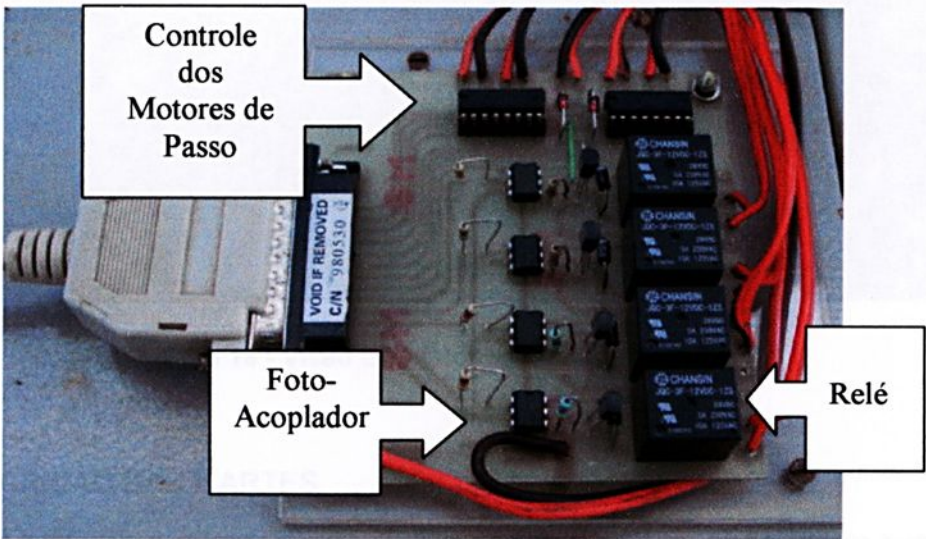


Figura 17 - Circuito de controle

5

Montagem do sistema de Ensaio

A figura abaixo mostra uma visão geral do sistema de ensaios, onde se podem perceber os distintos componentes no conjunto.



Figura 18 - Visão Geral do Sistema de Ensaio

5.1. DESCRIÇÃO DAS PARTES

Todo o sistema é composto de várias partes distintas, onde foram explicados seu funcionamento e função dentro do sistema. A seguir descrevem-se todos os componentes utilizados.

5.2. CÉLULA DE CARGA

A célula de carga utilizada foi da marca Sensortec, modelo CTP-50T, com capacidade nominal de 500 kN e uma resolução de 2mV/V. A figura abaixo mostra a célula de carga utilizada.



Figura 19 - Célula de Carga utilizada

5.3. CILINDRO DE CARGA

O cilindro de carga utilizado, foi da marca Yellow Power®, modelo RRY1006 de 1000 kN. A figura seguinte mostra o cilindro de carga utilizado.



Figura 20 - Cilindro de Carga utilizado

5.4. BOMBA HIDRÁULICA ELÉTRICA

A bomba hidráulica elétrica utilizada foi da marca Vickers®, modelo PSD-2702, com pressão máxima de trabalho de 210 kg/cm^2 e temperatura máxima de 65°C . A figura abaixo mostra a bomba hidráulica elétrica que foi automatizada.

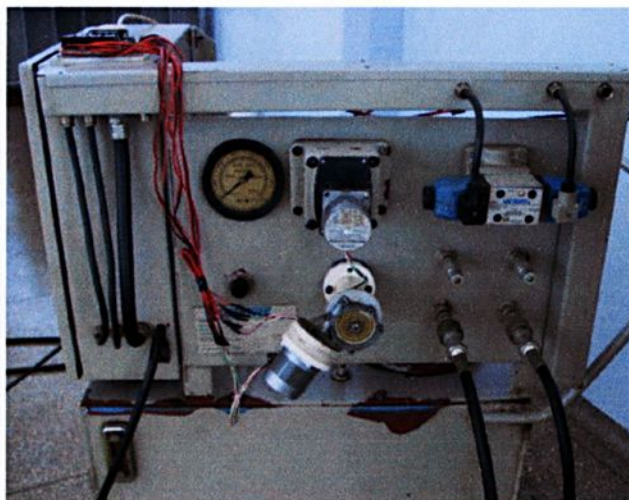


Figura 21 - Bomba Hidráulica Elétrica utilizada

5.5. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DAQBOOK®

O sistema de aquisição utilizado foi da marca Iotech®, modelo DaqBook 120, com um módulo de 8 canais de strain gages modelo DBK 43A®. A figura abaixo mostra o sistema de aquisição utilizado, com a respectiva saída P2 conectada ao circuito de controle, e do lado direito do sistema a fonte de alimentação de 12 volts com 3A que alimenta o circuito de controle.



Figura 22 - Sistema de aquisição DaqBook® e Dbk43A

5.6. MICRO-COMPUTADOR

O micro-computador utilizado foi um AMD-K6®, 400 Mhz, 64 Megabytes de Ram. A figura abaixo mostra o computador utilizado. Ao lado esquerdo tem-se o sistema de aquisição de dados e a fonte de alimentação do circuito de controle.



Figura 23 - Micro-computador utilizado

5.7. PAINEL DE CONTROLE DA BOMBA HIDRÁULICA ELÉTRICA:

Foram colocados em paralelo com o painel de controle da bomba hidráulica elétrica os relés da placa de controle. Se for preciso fazer um ensaio em modo manual, este poderá ser executado mediante a simples retirada dos dois motores de passo das respectivas válvulas. Somente a chave geral da bomba hidráulica elétrica não foi automatizada como medida de segurança, caso ocorra alguma pane no experimento ou no micro-computador.

A figura a seguir mostra o painel de controle da bomba hidráulica elétrica. Ao topo da caixa, pode-se observar a chave geral, e que logo abaixo existe uma lâmpada vermelha sinalizadora do painel em funcionamento, três lâmpadas verdes sinalizadoras indicam o funcionamento dos botões, começando da esquerda para a direita: o primeiro botão liga a bomba, o segundo faz o retorno do óleo à bomba, o terceiro envia o óleo ao sistema hidráulico, e por último existe um vermelho abaixo dos verdes, que serve para desligar a bomba elétrica.



Figura 24 - Painel de controle da bomba hidráulica elétrica



Figura 25 - Esquema gráfico de uma célula de carga

Para entender o funcionamento do sistema de aquisição de dados, primeiramente deve-se saber como funcionam seus componentes.

6.1. CÉLULA DE CARGA

Células de carga são dispositivos usados para leitura de força, através da teoria da elasticidade, onde as tensões nos materiais são proporcionais às suas deformações específicas. Através dos extensômetros elétricos pode-se medir as deformações que ocorrem na célula de carga. A partir destas deformações pode-se determinar a força a que a célula está sendo submetida. A Figura 25 apresenta o esquema de uma célula de carga.

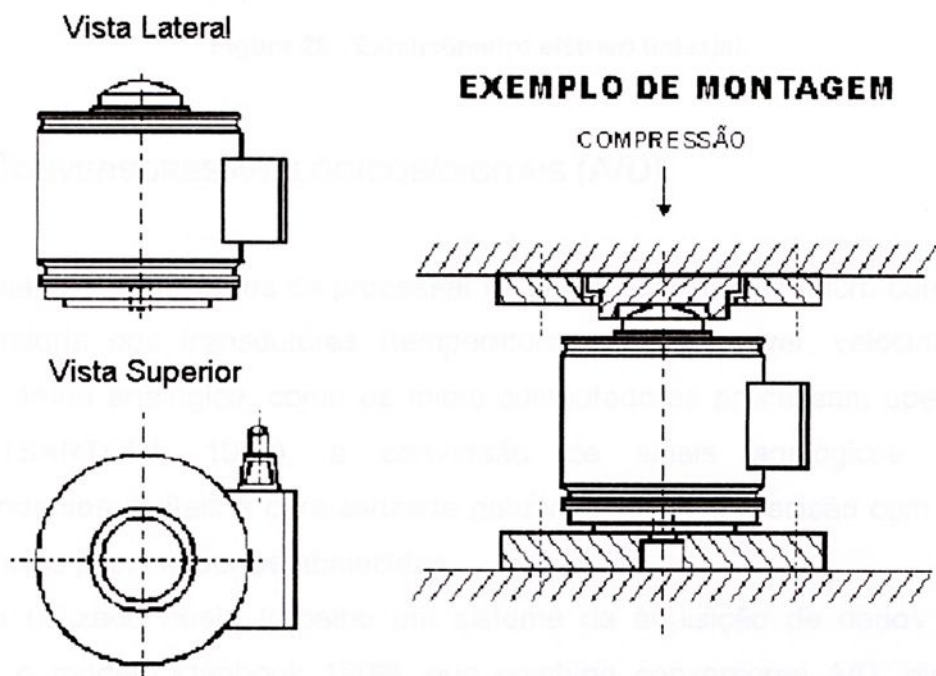


Figura 25 - Esquema gráfico de uma célula de carga.

6.2. OS EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS

Os extensômetros de resistência elétrica são elementos utilizados para obtenção das deformações nos corpos-de-prova, tendo assim a mesma finalidade dos relógios comparadores ou transdutores elétricos (BARRETO, 1998).

Porém os extensômetros apresentam deformações consideradas pontuais, já que o comprimento inicial da grade é geralmente muito menor que o comprimento inicial dos pontos de fixação de relógios e transdutores elétricos.

Seu princípio de funcionamento é relativamente simples, submetendo-se um condutor a uma solicitação mecânica, tração ou compressão, este tem sua seção modificada e assim aumenta ou diminui a sua resistência elétrica. A Figura 26 apresenta um extensômetro elétrico comumente utilizado em ensaios de compressão e tração simples.

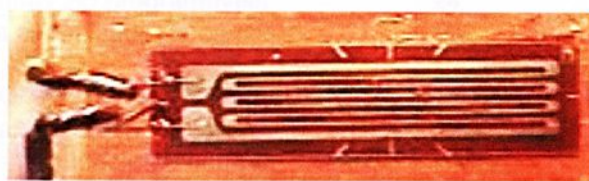


Figura 26 - Extensômetro elétrico uniaxial.

6.3. CONVERSORES ANALÓGICOS/DIGITAIS (A/D)

Uma das dificuldades de processar os sinais externos ao micro-computador é que a maioria dos transdutores (temperatura, pressão, nível, velocidade, etc.), possuem saída analógica, como os micro-computadores processam apenas sinais digitais (SARTORI, 1998), a conversão de sinais analógicos em seus correspondentes digitais é caracterizada pela velocidade e precisão com que estas equivalências possam ser estabelecidas.

Foi utilizado neste trabalho um sistema de aquisição de dados da marca lotech ® o modelo Daqbook 120®, que combina conversores A/D, digital I/O e contadores de frequência, tendo 16 linhas de entrada digital de alta velocidade, 12 bits de resolução em seu conversor A/D e 5 contadores/temporizadores, com um módulo de strain-gages modelo DBK-43A que possui 8 entradas analógicas, sendo todo o conjunto interfaceado pela porta paralela do micro computador.

Na tabela abaixo apresenta-se uma descrição técnica mais detalhada do sistema de aquisição.

Tabela 1: DaqBook – Informações Gerais

ENTRADA ANALÓGICA	
- Resolução A/D	12 bits
- nº de canais	8 modo diferencial, 16 Single-Ended
- capacidade máxima de canais	256
- velocidade A/D	100 khz
- Canal/Ganho sequencer depth	512
- FIFO	4 K
- UNIPOLAR/BIPOLAR	CHAVE
SAÍDA ANALÓGICA	
- nº de canais	2
- resolução	12 bits
ENTRADA DIGITAL DE ALTA VELOCIDADE	
- nº de bits	16
- máxima taxa de varredura	100 kwords/s
PROGRAMÁVEL DIGITAL I/O	
- nº de linhas I/O programáveis	24
- máxima capacidade de canais	192
- Fixo digital I/O	4 entradas, 4 saídas
PROGRAMÁVEIS CONTADORES/TEMPORIZADORES	
- nº de canais	5
- máxima frequência de entrada	7 Mhz
OUTRAS ENTRADAS CONTADORAS	1 ch, 8Mhz
INTERFACES COMPUTACIONAIS	
- PORTA PARALELA PADRÃO (ECP)	
- PORTA PARALELA EXTENDIDA (EPP)	
- SEGUNDA PORTA PARALELA DE IMPRESSORA	
- MÁXIMO PROCESSAMENTO DE DADOS PARA PC	800 Kbytes
- OPCIONAL CARTÃO DE PC	
SOFTWARE	
Windows 3.X, 95/NT DRIVERS	
VISUAL BASIC	
DAQVIEW SOFTWARE	
DIADEM SOFTWARE	
DASYLab COMPATÍVEL	
LabVIEW COMPATÍVEL	

Figura 27: Diagrama de Bloco do Sistema de Aquisição

A figura abaixo apresenta o diagrama de blocos do modelo DaqBook 120 ® da marca lotech, utilizada neste trabalho.

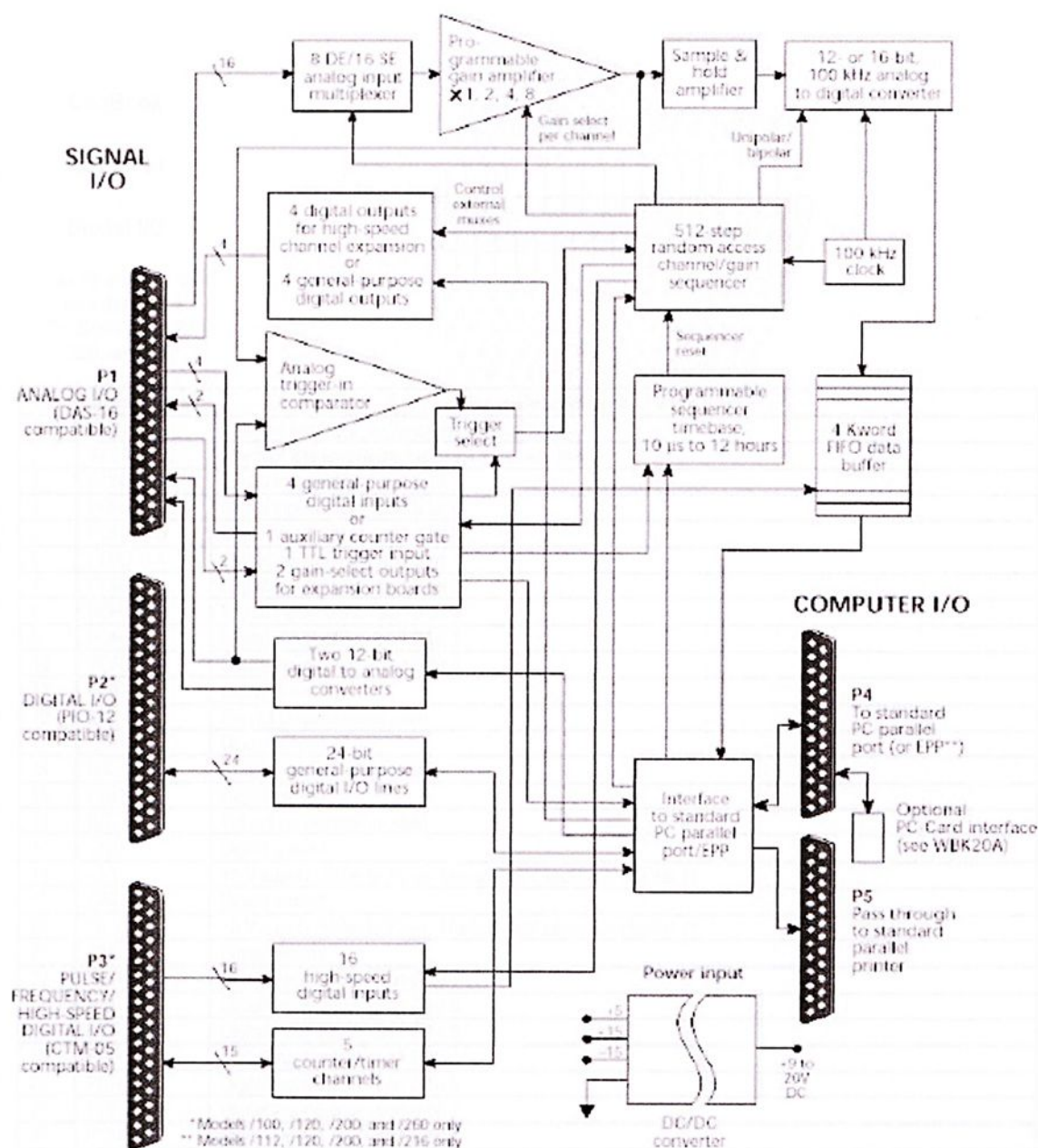


Figura 27 - Diagrama de Blocos do Daqbook

Figura 28 - Configuração da entrada de Contador P3 do Daqbook-120

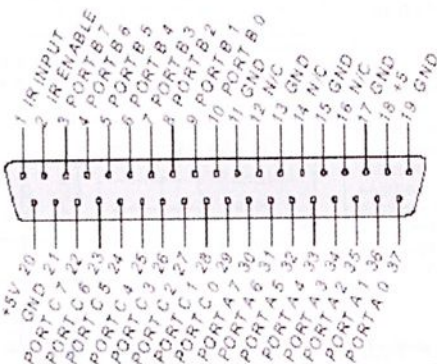
A figura abaixo apresenta a descrição detalhada das funções dos pinos do conector P2 utilizado para a comunicação externa com o circuito de controle, para o envio das três palavras de 4 bits.

DaqBook

P2 Pinout

Digital I/O

This P2 interface is available on the DaqBook/100, /120, /200, and /260.



Pin	Signal Name	Description for P2 Pin Use
1	IR INPUT	Interrupt line input (no functions to access this)
2	IR ENABLE	Interrupt line enable (no functions to access this)
3	PORT B 7	Digital input/output - port B bit 7
4	PORT B 6	Digital input/output - port B bit 6
5	PORT B 5	Digital input/output - port B bit 5
6	PORT B 4	Digital input/output - port B bit 4
7	PORT B 3	Digital input/output - port B bit 3
8	PORT B 2	Digital input/output - port B bit 2
9	PORT B 1	Digital input/output - port B bit 1
10	PORT B 0	Digital input/output - port B bit 0
11	GND	Digital ground
12	N/C	Pin not connected/not used
13	GND	Digital ground
14	N/C	Pin not connected/not used
15	GND	Digital ground
16	N/C	Pin not connected/not used
17	GND	Digital ground
18	+5 V	+5 V supply (Refer to <i>Power Management</i> section in chapter 7)
19	GND	Digital ground
20	+5 V	+5 V supply (Refer to <i>Power Management</i> section in chapter 7)
21	GND	Digital ground
22	PORT C 7	Digital input/output - port C bit 7
23	PORT C 6	Digital input/output - port C bit 6
24	PORT C 5	Digital input/output - port C bit 5
25	PORT C 4	Digital input/output - port C bit 4
26	PORT C 3	Digital input/output - port C bit 3
27	PORT C 2	Digital input/output - port C bit 2
28	PORT C 1	Digital input/output - port C bit 1
29	PORT C 0	Digital input/output - port C bit 0
30	PORT A 7	Digital input/output - port A bit 7
31	PORT A 6	Digital input/output - port A bit 6
32	PORT A 5	Digital input/output - port A bit 5
33	PORT A 4	Digital input/output - port A bit 4
34	PORT A 3	Digital input/output - port A bit 3
35	PORT A 2	Digital input/output - port A bit 2
36	PORT A 1	Digital input/output - port A bit 1
37	PORT A 0	Digital input/output - port A bit 0

Note: No local lines are available if digital expansion cards are in use.

Figura 28 - Configuração da pinagem da Conector P2 do Baqbook-120

A figura abaixo apresenta o diagrama de blocos do módulo de leitura de strain-gages da marca iotech, o DBK 43A.

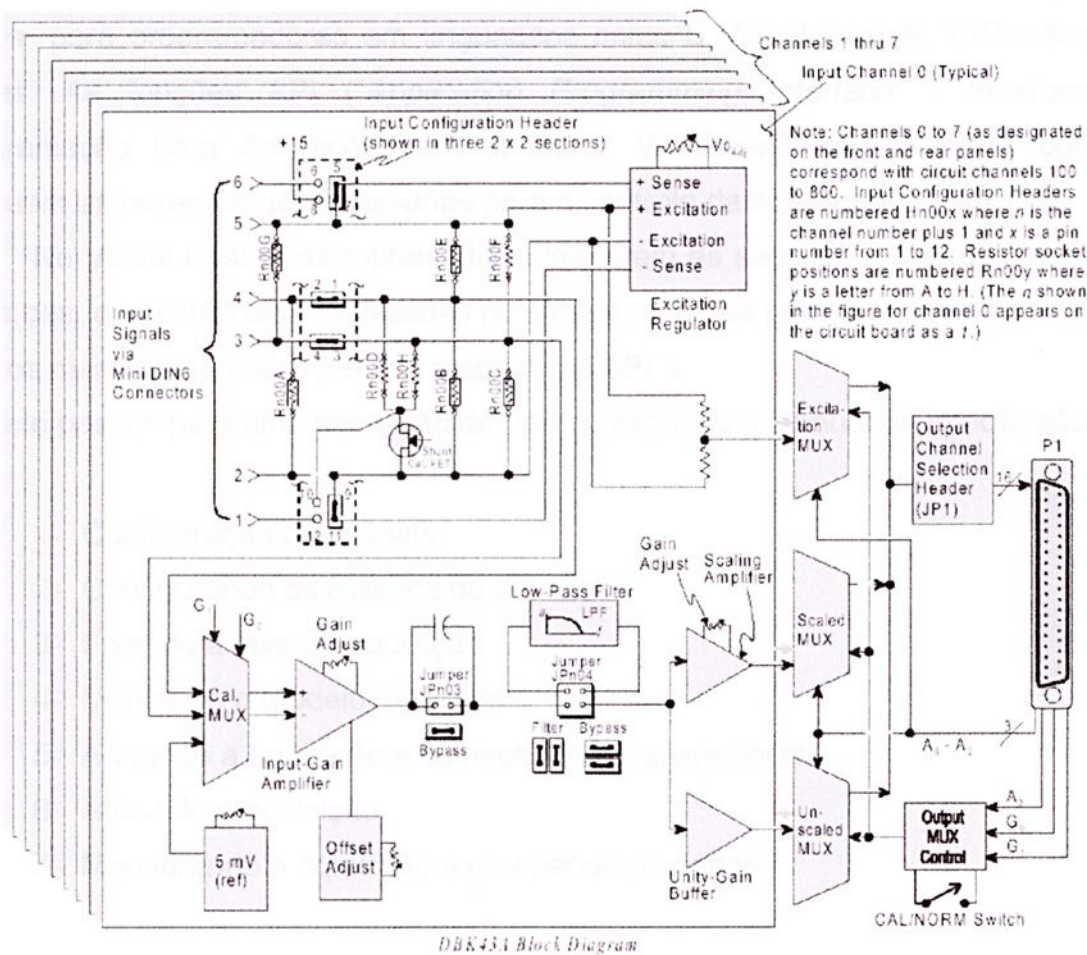


Figura 29 - Diagrama de Blocos do DBK43A – 8 Canais de Strain Gages

Utilizou-se a Porta P2 do DAQBOOK para fazer o interfaceamento, com o circuito de controle, usaram-se os pinos 37, 36, 35 e 34, ou seja, porta A0, porta A1, porta A2 e porta A3 respectivamente para enviar uma palavra de 4 bits para o controle dos relés que acionam o painel de controle da bomba hidráulica.

Utilizou-se os pinos 10, 9, 8 e 7, ou seja, porta B0, porta B1, porta B2 e porta B3 respectivamente para enviar uma palavra de 4 bits para o motor-de-passo que controla a válvula de vazão.

Utilizou-se os pinos 29, 28, 27 e 26, ou seja, porta C0, porta C1, porta C2 e porta C3 respectivamente para enviar uma palavra de 4 bits para o motor-de-passo que controla a válvula de pressão.

6.4. ESTUDO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

A Iotech disponibiliza drivers para o controle do sistema de aquisição de dados, para programadores em linguagens como o Visual Basic®, C/C++® entre outras. As funções API (*“Application Programming Interface”* - Interface de Programação para Aplicações em ambiente Windows®) que o driver contém, possuem as ferramentas necessárias para o controle da aquisição.

No Visual Basic® as rotinas utilizadas foram as seguintes: Daqroutines.bas e Daqs.bas, que estão disponibilizadas no site da empresa para download, juntamente com os manuais de utilização das respectivas API's.

Os sete passos para uma aquisição de dados, segundo o manual da Iotech®, são:

- 1- Configuração dos canais.
- 2- Configurando os eventos da aquisição.
- 3- Fixando a taxa de aquisição.
- 4- Montando o Modelo de Buffer.
- 5- Armandos a aquisição e começando a transferência.
- 6- Ativando a aquisição.
- 7- Monitorando a aquisição e recebendo os dados.

6.4.1. CONFIGURAÇÃO DOS CANAIS.

Em uma aquisição de dados tem-se um ou mais canais por onde os dados serão adquiridos. Os mesmos serão varridos e deverão estar incluídos na configuração de varredura. Os canais serão adicionados na ordem que forem programados, mesmo se alguns canais estiverem repetidos, eles serão acrescentados na sequência de varredura programada.

6.4.2. CONFIGURANDO OS EVENTOS DA AQUISIÇÃO.

Cada aquisição precisa ter bem definidos os eventos de início e fim. O número e o tipo de evento são dependentes da capacidade dos dispositivos de aquisição e variam de produto a produto.



6.4.3. FIXANDO A TAXA DE AQUISIÇÃO

A taxa de aquisição refere-se à rapidez com que um canal será varrido. Dependendo da API utilizada pela aquisição, a taxa poderá ser selecionada por frequência ou por período / intervalo. No dispositivo utilizado, o intervalo de amostragem é fixo em 10 μ s.

6.4.4. MONTANDO O MODELO DE *BUFFER*

Buffer é um dispositivo de armazenamento, de caráter transitório, utilizado durante uma operação de transferência ou transmissão de dados entre unidades de armazenamento ou de processamento, que operam com tempo de acesso, velocidades ou formatos distintos, segundo o software “*Dicionário Aurélio Eletrônico – Século XXI, versão 3.0 – Novembro de 1999*”.

Há dois modelos básicos de buffer a ser escolhido, o *User Buffer* e o *Driver Buffer*. O *User Buffer* permite ao usuário ou à sua aplicação, alocar um espaço e enviar essa informação, descrevendo o local e a disposição desse espaço, de modo que o driver possa coletar os dados e armazená-los no buffer, esse modelo requer que a manutenção do buffer e de seus ponteiros sejam feitos pelo usuário ou pela aplicação.

Ao usar o esse modelo, a aplicação solicita ao driver o exame do total de dados que foram transferidos, mas o usuário ou a aplicação será responsável por manter e atualizar a leitura e também colocar os ponteiros no mesmo.

Esse modelo poder empregar dois modos: lineares ou circulares, que dependem das necessidades da aplicação.

Quando o modo linear é selecionado o driver começa a preenchê-lo desde o início, com a mais nova varredura disponível.

Uma vez que o buffer inteiro estiver completo com o número de varreduras especificado, o driver deixará de preenchê-lo, embora a aquisição possa continuar.

Nesse modo, o driver deixará de preencher o buffer, se o numero total de varreduras forem satisfeitos, se a varredura continuar, os dados a partir desse ponto serão acumulados no dispositivo de memória (FIFO) até que a transferência seja iniciada em outro buffer (ou no mesmo buffer) ou o dispositivo se completará.



A implicação disso é que, quando se usa buffers lineares é importante se ter certeza que a transferência permanecerá ativa durante o curso da aquisição ou poderá resultar em perda de dados. Em síntese, se a aquisição continuar além do término do buffer, outra transferência (no mesmo ou em um buffer diferente) deverá ser iniciada imediatamente.

Normalmente esses buffers devem ser usados quando se pré-determinam o número de varreduras que será coletado para a aquisição, nesse caso o comprimento do buffer a ser fixado deverá ser do mesmo tamanho da varredura da aquisição total.

No modo circular o driver continua preenchendo os dados no *User Buffer* até que a aquisição termine por si própria ou é abortada pelo usuário ou pela aplicação. Diferente do modelo Linear, quando o fim do *User buffer* é localizado o driver continuará preenchendo os dados começando no início.

Quando se usa esse modo, a aplicação não necessita da informação com relação ao buffer, pois, sempre existirá um pronto para levar o dados, porque o driver completará o buffer especificado e, quando necessário, começará a preenchê-los no início.

Esse modelo assegura que um dispositivo FIFO nunca se complete; isso acontece porque o driver sempre encontrará lugar para armazenar os dados (contanto que a interface seja capaz do processamento exigido). Na aplicação é exigido, monitorar a transferência e remover e/ou processar os dados que ficam disponíveis.

Poderá ocorrer um *User buffer* completo, se a aplicação que estiver controlando não puder manter o processamento ou a remoção dos dados, a aplicação deverá alocar espaço suficiente para aliviar qualquer processo, ou outras latências que podem estar presentes no sistema ou na aplicação.

O *Driver buffer* permite a flexibilidade do modelo *User Buffer* em modo circular sem a complicação de se administrar o buffer circular em nível de aplicação.

6.4.5. ARMANDO A AQUISIÇÃO E INICIANDO A TRANSFERÊNCIA

Para armar uma aquisição deve-se levar a transferência de um estado inativo para um estado ativo.



É prática habilitar a transferência de dados primeiro no buffer chamando o comando **daqAdcTransferStart**. Isto assegurará que uma transferência esteja ativa e que o buffer esteja pronto para receber os dados, de forma que, quando a aquisição for ativada os dados da varredura poderão ser colocados imediatamente no buffer.

6.4.6. ATIVANDO A AQUISIÇÃO

Quando a aquisição estiver pronta, poderá ser ativada a qualquer momento, a menos que dados de pré-acionamento sejam solicitados. Se for solicitado, os eventos de acionamento serão adiados pelo menos até que a quantia específica de dados solicitados tenha sido fornecida.

O evento de acionamento pode ser qualquer um dos eventos de acionamento válidos para o qual o dispositivo é capaz.

6.4.7. MONITORANDO A AQUISIÇÃO E RECEBENDO DADOS

Durante a operação, poderá ser necessário monitorar o progresso da aquisição, coletar dados e processá-los. A função **daqAdcTransferGetStat** retorna o contador do total de varreduras e transfere essa informação. A interpretação da informação devolvida depende do modelo selecionado, e se foi fixado em modo linear ou circular.

O parâmetro ativo devolve o estado da informação. Os fragmentos individuais devolvidos neste parâmetro indicam o estado atual da aquisição e da transferência.

O parâmetro de **retCount** retorna o total da quantidade de dados transferida.

6.4.8. FUNÇÕES UTILIZADAS PELO VISUAL BASIC

Esta seção demonstra como inicializar o DaqBook® e usar vários métodos de tratamento de erros. Os programas em Visual Basic® devem incluir o arquivo DaqX.bas em seu projeto. O arquivo de DaqX.bas provê as definições necessárias das funções para o driver **DAQX.DLL**. O código a seguir demonstra como iniciar o driver,




```
handle& = VBdaqOpen&("daqbook")
```

O código a seguir demonstra como fechar o driver.

```
ret& = VBdaqClose&(handle&)
```

A figura a seguir mostra como iniciar um código de programação dentro do driver fornecido pela lotch ® para programadores.

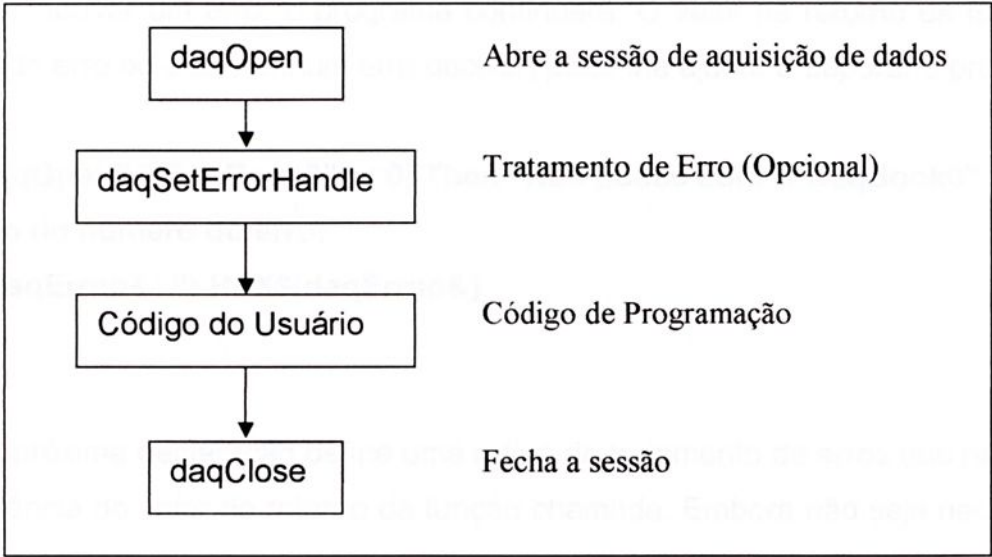


Figura 30 - Inserção do Código de Programação

O dispositivo DaqBook é aberto e inicializado com a função **daqOpen**, que leva um parâmetro: o nome do dispositivo a ser aberto.

O nome de dispositivo pode ser acessado e mudado pelo utilitário de configuração DaqBook no Painel de controle do sistema operacional.

A função **daqOpen**, se obtiver sucesso, devolverá um “handle” do dispositivo aberto. Este “handle” poderá ser utilizado através de outras funções para configurar ou executar outras operações no dispositivo.

Quando as operações com o dispositivo estiverem completas, o dispositivo usa a função **daqclose** para encerrar.

Se o dispositivo não for encontrado ou aberto, a função **daqOpen** retornará o valor “-1”.

Na biblioteca DAQX existe um manipulador de erros, definido ao ser iniciado, porém, se for desejável a mudança do manipulador ou incapacitar o tratamento de erros, então a função **daqSetErrorHandler** poderá ser usada como um manipulador para o driver.

No exemplo seguinte o manipulador de erros é fixado em 0 (nenhum manipulador definido) que incapacita o tratamento de erros.

```
ret& = VBdaqSetErrorHandler&(0&)
```

Se houver um erro, o programa continuará. O valor de retorno da função (o número do erro ou 0 se nenhum erro ocorrer) pode lhe ajudar a depurar o programa.

```
If (VBdaqOpen&("DaqBook0") < 0) Then "Não posso abrir o DaqBook0"
```

```
'Retorno do número do erro:
```

```
Print "daqErrno&: "; HEX$(daqErrno&)
```

```
End If
```

A próxima declaração define uma rotina de tratamento de erros que não exige a conferência do valor de retorno da função chamada. Embora não seja necessário, pode-se transferir o controle do programa a uma sub-rotina definida quando um erro é encontrado. Sem um manipulador de erro, o Visual Basic® receberá e controlará o erro.

O Visual Basic® provê uma variável denominada "ERR" que contém o mais recente código de erro. Esta variável poderá ser usada para descobrir a fonte de erro e iniciar a ação apropriada.

A função **daqSetErrorHandler** diz ao Visual Basic® colocar na variável "ERR" um valor específico quando um erro é encontrado. A linha seguinte diz ao Visual Basic® que fixe a variável "ERR" em 100 quando um erro for encontrado.

```
Handle& = VBdaqOpen& ("DaqBook0")
```

```
Ret& = VBdaqSetErrorHandler& (handle&, 100)
```

```
On Error Goto ERRORHANDLER
```



O **On Error GoTo** permite a definição de um manipulador de erros, em lugar do manipulador padrão que o Visual Basic® usa automaticamente.

O programa usa **On Error GoTo** para transferir o controle do programa ao rótulo **ErrorHandler** se um erro for encontrado.

6.4.8.1. COMANDOS DE AQUISIÇÃO UM-PASSO

Estes comandos provêem de uma única chamada da função para configurar e adquirir os dados de contribuições analógicas. A figura abaixo demonstra o uso das funções de ADC.

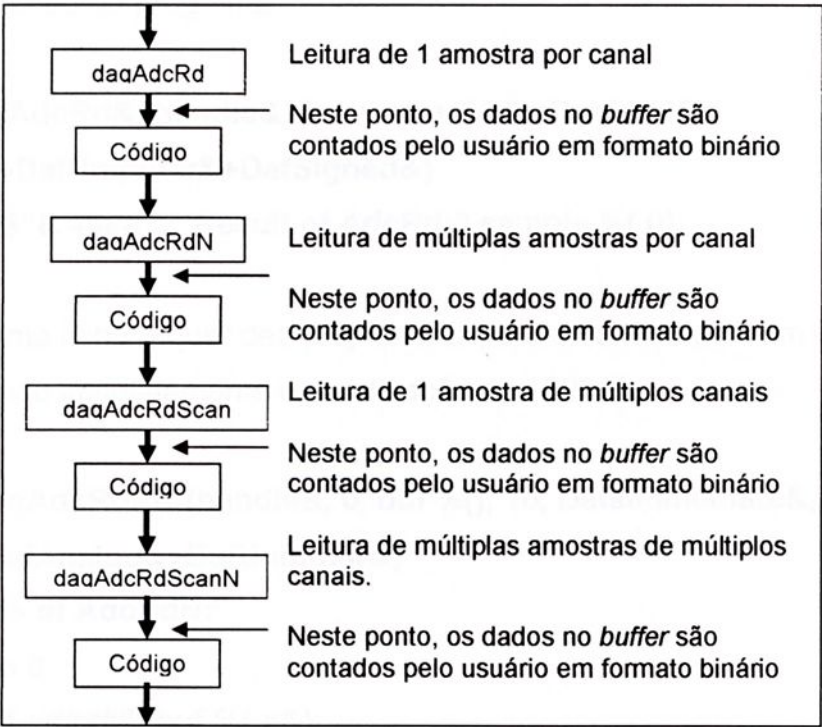


Figura 31 - Uso das Funções ADC

A linha de código a seguir inicia o dispositivo DaqBook® e leva as leituras dos canais de entrada analógicos da unidade básica. Para transportar os dados dentro e fora do DaqBook ® pelo driver, deve-se dimensionar matrizes.

Dim sample %(1), buff%(80), handle&, ret&, flags&, gain&

O código seguinte assume que o dispositivo foi aberto com sucesso e o valor de handle& é um valor válido para o dispositivo.

Todas as funções de um-passo seguintes definem os grupos de varredura dos canais para serem canais de entrada unipolares analógicos. Especificando esta configuração usa-se o **DafAnalog** e os valores de **DafUnipolar** no parâmetro de configuração.

O parâmetro de configuração é um campo de máscara, na qual cada parte especifica as características do canal. Nesse caso, são somados os valores de **DafAnalog** (analógico) e os valores de **DafUnipolar** (unipolar) para formar a parte apropriada da máscara para o parâmetro de configuração específico.

A próxima linha pede uma (1) leitura de um (1) canal com um ganho de uma vez (x1). A variável **DgainX1&** é uma constante definida no módulo **DaqX.bas**, incluída no escopo do programa.

```
Ret&=VBdaqAdcRd& (handle&, 0, sample %( 0), DgainX1&,
DafAnalog&+DafUnipolar&+DafSigned&)
Print Format$"& ####"; "Result of AdcRd:" sample %( 0)
```

A próxima linha requer dez (10) leituras para o canal 0 com um ganho de uma vez (x1), usando imediatamente uma ativação de 1000 Hz.

```
Ret& = VBdaqAdcRdN& (handle&, 0, buf %(), 10, DatsImmediate&, 0, 1000!,
DgainX1&, DafAnalog&+DafUnipolar&)
Print "Results of AdcRdN:"
For x& = 0 To 9
Print Format$ "####"; buf %( x&);
Next x&
```

A próxima linha coleta uma amostra dos canais de 0 a 7 usando a função **VBdaqAdcRdScan**.

```
Ret& = VBDAQADCRDSCAN&(handle&,0, 7, buf%(), DgainX1&,dafanalog&)
Print "Resultados de AdcRdscan:"
For x& = 0 To 7
Print Format$"& # & ####"; "Canal:"; buf%(x); "Dados:"; buf%(x)
Next x&: Print
```


A função **daqIOWrite** é utilizada para o envio dos sinais digitais para o controle dos motores-de-passo, que acionam as devidas válvulas, com a seguinte sintaxe:

DaqIOWrite (handle, destine, devPort, which Device, whichExpPort, value)

Onde:

- handle: é o número obtido da função VbdaqOpen
- devType: veja a tabela
- devPort: veja a tabela
- wichDevice: faixa de valores válidos de 0 a 171
- wichExpPort: veja a tabela
- value: faixa de valores válidos de 0 a 65535

devType (DaqIODeviceType)

Definição	Descrição
DiodtLocalBitIO	P2 – Endereçamento local através de byte
DiodtLocal8255	P2 – Endereçamento local da Serie de dispositivos DaqBoard/2000 e cPCI DaqBoard/2000c
DiodtP2Local8	P2 – Endereçamento local através de byte
DiodtP3LocalDig16	P3 – Endereçamento local para HS 16-bit Dig I/O
DiodtP3LocalCtr16	P3 – Endereçamento local de contadores de 16-bit
DiodtP2Exp8	P2 – Endereçamento de Expansão por byte
DiodtExp8255	DBK20, DBK21
DiodtDbk23	DBK23
DiodtDbk24	DBK24
DiodtDbk25	DBK25

Devport (DaqIODevicePort)

Definição	Descrição
Local Bit I/O	
DiodpBitIO	P2 – Endereçamento por bit
P2 Endereçamento Sequencial de 8-Bit	
DiodpP2Local8	P2 – Endereçamento local por byte
DiodpP2LocalIR	P2 – Registrador Interno Local (para configurar P2)
DiodpP2Exp8	P2 – Endereçamento de Expansão por byte
P3 Porta Digital	
DiodpP3LocalDig16	P3 – Endereçamento local para HS 16-bit Dig I/O
DiodpP3LocalDigIR	P3 – Registrador interno local (para configurar P3)
Local 8255, Dbk20, Dbk21 (Series DaqBoard/2000, Series cPCI DaqBoard/2000c, e DBK somente)	
Diodp8255A	P2 – Byte Digital da Porta A
Diodp8255B	P2 – Byte Digital da Porta B
Diodp8255C	P2 – Byte Digital da Porta C
Diodp8255IR	P2 –Registrador Interno (para configurar P2)
Diodp8255CHigh	P2 – 4-bit Digital da Porta C Alto
Diodp8255CLow	P2 – 4-bit Digital da Porta C Baixo
DiodpP3LocalCtr16	P3 – Contador de 16-bit
Dbk23	
DiodpDbk23A	DBK23 – Byte Digital da Porta A
DiodpDbk23B	DBK23 – Byte Digital da Porta B
DiodpDbk23C	DBK23 – Byte Digital da Porta C
DiodpDbk23Unused	Não usado
Dbk24	
DiodpDbk24A	DBK24 – Byte Digital da Porta A
DiodpDbk24B	DBK24 – Byte Digital da Porta B
DiodpDbk24C	DBK24 – Byte Digital da Porta C
DiodpDbk24Unused	Não usado
DiodpDbk25	DBK25
Wbk17	
DiodpWbk17_8Bit	WBK17 – Saída digital de 8-bit

wichExpPort (DaqIOExpansionPort)

Definição	Descrição
DioepP1	Note que DioepP1 é somente para aplicações em DigiBook e WaveBook.
DioepP2	DBK20/21 Porta 2
DioepP3	DBK20/21 Porta 3



Desenvolvimento do Programa em Visual Basic®

7.1. O VISUAL BASIC®

Assim como outras ferramentas, o Microsoft Visual Basic® é um ambiente de programação e desenvolvimento de aplicações gráficas para o ambiente Microsoft Windows®, porém com vantagens adicionais como a facilidade em produzir aplicações corporativas de modo simples e rápido (NUNES, 1995)

O desenvolvimento de aplicações gráficas através do Microsoft Visual Basic® utiliza um novo estilo de programação, já conhecida como "Programação Visual".

Esta, por sua vez, baseia-se em produtos que possuam uma estrutura de programação orientada a eventos e recursos visuais que auxiliam no desenvolvimento de programas aumentando a produtividade no processo de desenvolvimento de sistemas.

Nesta etapa foi realizada a programação do algoritmo que une e controla todos os módulos anteriores.

O algoritmo foi desenvolvido dentro da plataforma de programação Visual Basic®.

A Figura 32 apresenta o fluxograma que foi utilizado no desenvolvimento do programa, mostrando as etapas de alimentação e retro-alimentação de dados.

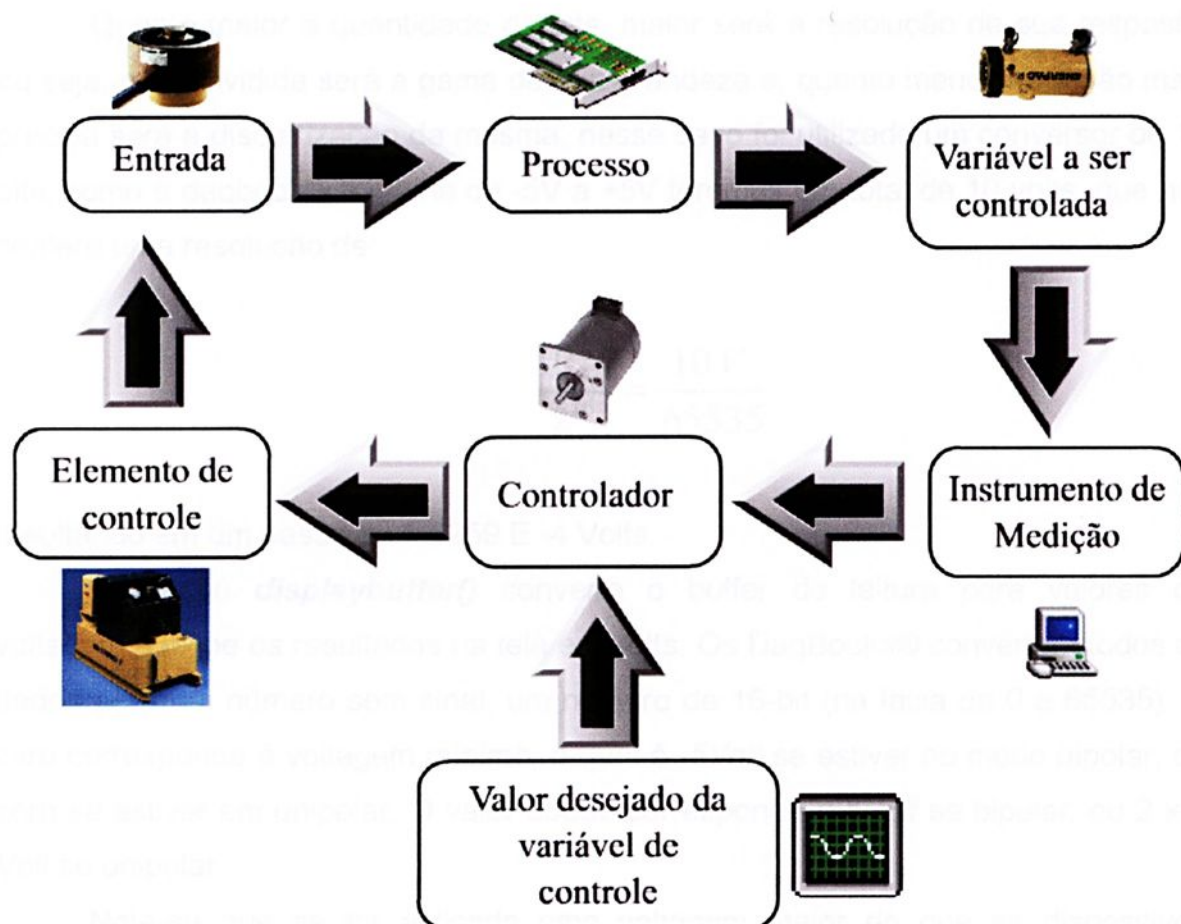


Figura 32 - Fluxograma do programa desenvolvido.

7.2. O PROGRAMA

Inicialmente deve-se configurar o programa com as constantes da célula de carga, para que o mesmo faça as devidas adequações ao seu funcionamento, uma vez que os valores lidos serão em mV/V, deve-se transformá-los em micro-strain, para isso utilizou-se uma função de conversão disponibilizada pelo driver da lotech®, que se chama **displaybuffer()**.

A força aplicada à célula de carga é uma grandeza física (analógica) e para que o computador entenda, deve-se transformá-la em grandeza elétrica, sendo este o papel do conversor A/D, ou seja, Analógico para Digital.

Um conversor A/D é medido por sua resolução, ou seja, a quantidade de bits que pode ser representado determinada grandeza.

Quanto maior a quantidade de bits, maior será a resolução de sua resposta, ou seja, mais dividida será a gama de sua grandeza e, quanto menor a divisão mais precisa será a discretização da mesma, nesse caso foi utilizado um conversor de 16 bits, como o daqbook® trabalha de -5V a +5V teremos um total de 10 volts, que nos confere uma resolução de:

$$\frac{10\text{ V}}{2^{16}} = \frac{10\text{ V}}{65535}$$

resultando em um passo de 1,5259 E -4 Volts.

A função **displaybuffer()** converte o buffer de leitura para valores de voltagem e exibe os resultados na tela em volts. Os DaqBooks® convertem todos os dados para um número sem sinal, um número de 16-bit (na faixa de 0 a 65535). O zero corresponde à voltagem mínima, o qual é -5Volt se estiver no modo bipolar, ou zero se estiver em unipolar. O valor 65535 corresponde a 5Volt se bipolar, ou 2 x 5 Volt se unipolar.

Note-se que se for aplicada uma voltagem maior do que os dispositivos suportam (+/-10V para DaqBoard2000, +/-5V para outros dispositivos Daq*) poderão danificá-los.

Configurando parâmetros e ganhos maiores que os indicados, com uma voltagem maior que a máxima suportada pelos dispositivos, tal como unipolar, as varreduras sem escala resultarão em indicações de erros, antes que elas possam ser executadas.

Para o Visual Basic®, o buffer é definido como sendo um inteiro com sinal, o qual tem valores contidos entre -32768 e +32768; na escala bipolar do daq, onde 0 = -5V e 65535=+5V. Quando o valor do buffer exceder +32768, os valores dos registros do Visual Basic® serão a diferença entre o valor e o fim de sua escala inteira (-32768), por exemplo, o valor do buffer é lido como -5536 no Visual Basic este será de 65536-5536 = 60000.

A rotina seguinte, automaticamente determina a máxima voltagem para o dispositivo utilizado, a escala apropriada e fatores de offset para a polaridade dos parâmetros selecionados.



```
Function displaybuffer(scannumber, chan, excitacao, extensometro, ganho,
valoffset)
    For s = 0 To (scannumber - 1)
        For q = 0 To (chan - 1)
            t = chan * s + q
            If buffer(t) >= 0 Then
                conv_buffer(t) = buffer(t) * scales(0) - offset(0)
            Else
                conv_buffer(t) = Abs(65536 + buffer(t)) * scales(0) - offset(0)
            End If
            conv_buffer1(t) = Format(conv_buffer(t), "###0.000")
            mStrainValor = (conv_buffer1(t) * (4000000 / (excitacao * extensometro *
ganho))) + valoffset
            If Contador <= 1000 Then
                Media = Media + mStrainValor
                Contador = Contador + 1
            Else
                mStrainValor = Media / 1000
                Contador = 1
                Media = 0
                displaybuffer = mStrainValor
            End If
        Next q
    Next s
End Function
```


Foi utilizada uma célula de carga com uma faixa de trabalho de 500 kN e 2mVV de resolução, a tabela de calibração da célula de carga se encontra logo abaixo:

AFERIÇÃO C.C. 50t			DATA	Valor
ESCALA DA PRENSA 20t			23/11/2001	Em
CARGA	LEITURA		MÉDIA	µE
0	50025	50022	50024	0
500	50062	50064	50063	39
1000	50102	50100	50101	77
1500	50139	50139	50139	115
2000	50178	50176	50177	153
2500	50216	50211	50214	190
3000	50251	50251	50251	227
3500	50288	50287	50288	264
4000	50328	50327	50328	304
4500	50366	50364	50365	341
5000	50402	50401	50402	378
5500	50441	50440	50441	417
6000	50481	50478	50480	456
6500	50516	50517	50517	493
7000	50554	50552	50553	529
7500	50591	50589	50590	566
8000	50629	50628	50629	605
8500	50666	50668	50667	643
9000	50705	50703	50704	680
9500	50742	50739	50741	717
10000	50778	50776	50777	753
10500	50813	50810	50812	788
11000	50846	50848	50847	823
11500	50883	50883	50883	859
12000	50919	50918	50919	895
12500	50951	50952	50952	928
13000	50985	50986	50986	962
13500	51015	51017	51016	992
14000	51051	51051	51051	1027
14500	51086	51083	51085	1061
15000	51119	51119	51119	1095
15500	51155	51153	51154	1130
16000	51188	51189	51189	1165
16500	51219	51221	51220	1196
17000	51257	51257	51257	1233
17500	51290	51290	51290	1266
18000	51321	51325	51323	1299
18500	51357	51357	51357	1333
19000	51390	51393	51392	1368
19500	51426	51427	51427	1403
20000	51458	51461	51460	1436

Tabela 2: Calibração da Célula de Carga

Obteve-se uma função do primeiro grau igual a: 13,9276x, sendo essa inserida no programa para que o mesmo realize as devidas correções na curva da célula de carga. A partir daí o programa zera o valor lido da célula de carga criando uma constante de correção.

Uma vez coletados os dados, transformamos em micro-strains, depois em kN, a função seguinte executa estas transformações:

$$mStrainValor = (conv_buffer1(t) * (4000000 / (excitacao * extensometro * ganho))) + valoffset$$
$$ValorKN = Ret * Val(TxtCalibracao) + Val(TxtConstante) * 0.00980665$$

A partir daí pode-se manipular os dados, na unidade desejada.

A bomba hidráulica elétrica possui um painel de controle onde se podem acionar os comandos para a compressão e tração nos cilindros de carga.

Os botões são acionados pela saída digital do DaqBook ® através do circuito de controle, que é constituído de 4 relés e dois circuitos integrados utilizados para os motores de passo, cada relé controla uma determinada função no painel de controle da bomba hidráulica elétrica.

O primeiro relé liga o motor da bomba, o segundo desliga o motor, o terceiro liga a compressão e o quarto liga a tração, os botões de compressão e tração no modo manual só funcionam enquanto o operador estiver com ele pressionado, no modo automatizado o computador controla o acionamento.

Para a realização do ensaio devem-se ajustar os motores de passo da válvula de pressão e vazão, pois deve-se zerar esses parâmetros para que o computador possa ser informado dos limites de sua atuação nas respectivas válvulas.

Uma vez calibrada a bomba hidráulica elétrica, o programa aciona o cilindro hidráulico com uma velocidade maior, para que este pare em cima do corpo-de-prova mais rápido, sem que haja a necessidade da interferência do técnico. Isto é feito abrindo-se a válvula de vazão em um valor pré-determinado, fazendo com que a velocidade do pistão aumente, para que não se perca tempo até o contato com o corpo-de-prova.



O computador envia uma palavra digital para o motor de passo ordenando que abra a válvula de vazão em um valor fixo, esse valor não pode ser grande porque o pistão do cilindro poderá danificar o corpo-de-prova, devido à velocidade alta, o mecanismo de parada é feito lendo-se a célula de carga até que se obtenha uma alteração do zero na mesma, o computador interpreta como sendo um toque que o pistão do cilindro de carga está dando no corpo-de-prova e, então, o programa faz com que a válvula de vazão se feche no mesmo valor em que foi aberta e retorne à posição de zero novamente.

No próximo passo o computador começa a realizar o ensaio de acordo com os parâmetros nele inseridos como velocidade constante de carregamento, carga constante ou intervalos de variação desses.

O computador faz as leituras da célula de carga e aciona os respectivos motores de passo. Na velocidade constante de carregamento, o controle da válvula de pressão é considerado como um ajuste fino do controle da válvula de vazão, ou seja, enquanto a velocidade programada não for atingida o computador envia palavras digitais para o motor de passo da válvula de pressão.

O motor de passo da válvula de pressão não conseguiria sozinho fechá-lo, por esse motivo, colocou-se uma amplificação de força mecânica na razão de 1/34, devido a essa relação ser encontrada facilmente, para aumentar a pressão no sistema ou diminuir dependendo do caso em que se encontra naquele momento.

Se a velocidade estiver acima do limite pré-determinado, o motor diminui a pressão e se estiver abaixo do limite, ele aumenta a pressão para que a velocidade chegue à definida, se estiver no valor, ele mantém a válvula na posição.

Quando um corpo-de-prova esta sendo solicitado, este tende a dificultar a velocidade do pistão do cilindro de carga, fazendo com que o computador envie sinais de correção para os motores de passo.

Uma vez que a válvula de pressão não atenda mais o valor da velocidade pré-determinada, entra em ação a válvula de vazão que aumentará a velocidade do sistema e haverá uma diminuição de pressão no sistema para que se inicie novamente a varredura.



O fluxograma a seguir ilustra a operação de ajuste do pistão do cilindro de carga até o corpo-de-prova.



Figura 33 - Fluxograma de ajuste do pistão do cilindro de carga

O fluxograma a seguir mostra a atuação do sistema mediante a comparação dos valores de leitura da velocidade em função do tempo.

7.3.1. TELA DO PROGRAMA DE CONTROLE

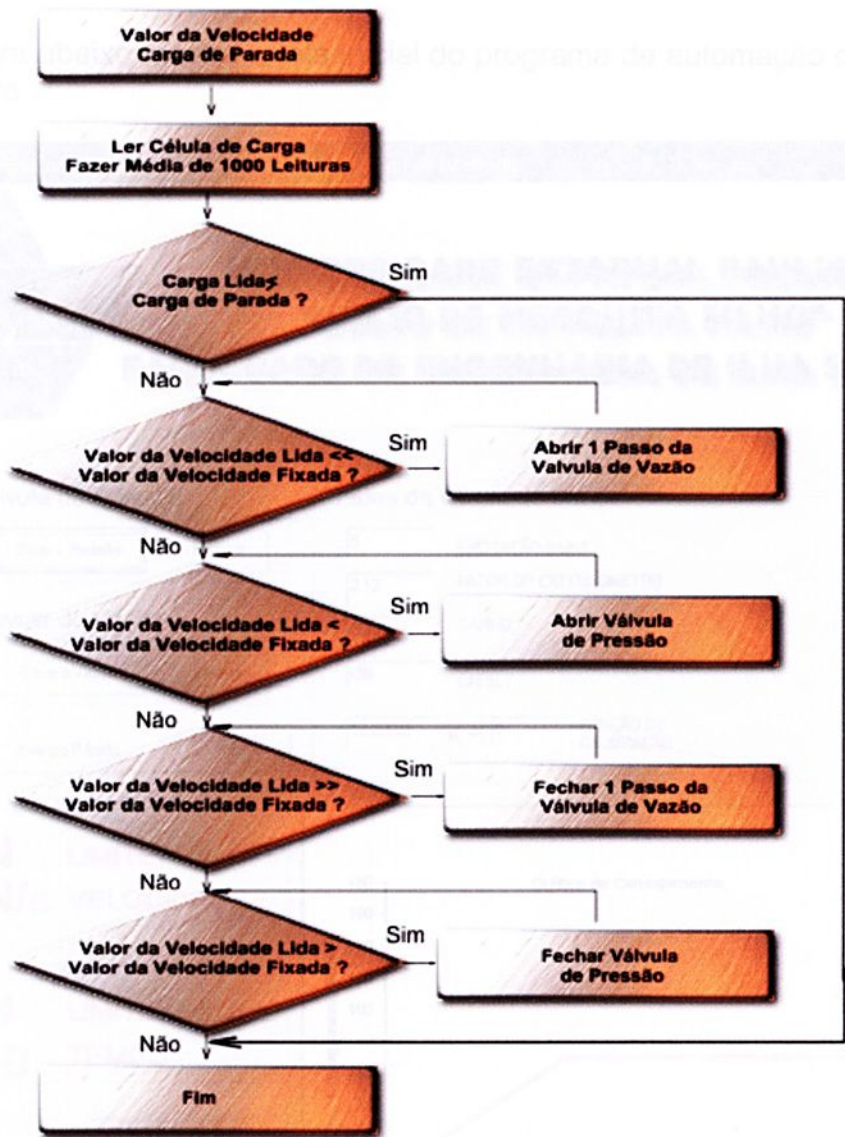


Figura 34 - Fluxograma de funcionamento do programa computacional

Figura 35 - Tela do Programa de Controle

7.3. FUNCIONAMENTO DO PROGRAMA

7.3.1. TELA DO PROGRAMA DE CONTROLE

A figura abaixo mostra a tela inicial do programa de automação do sistema de carregamento.

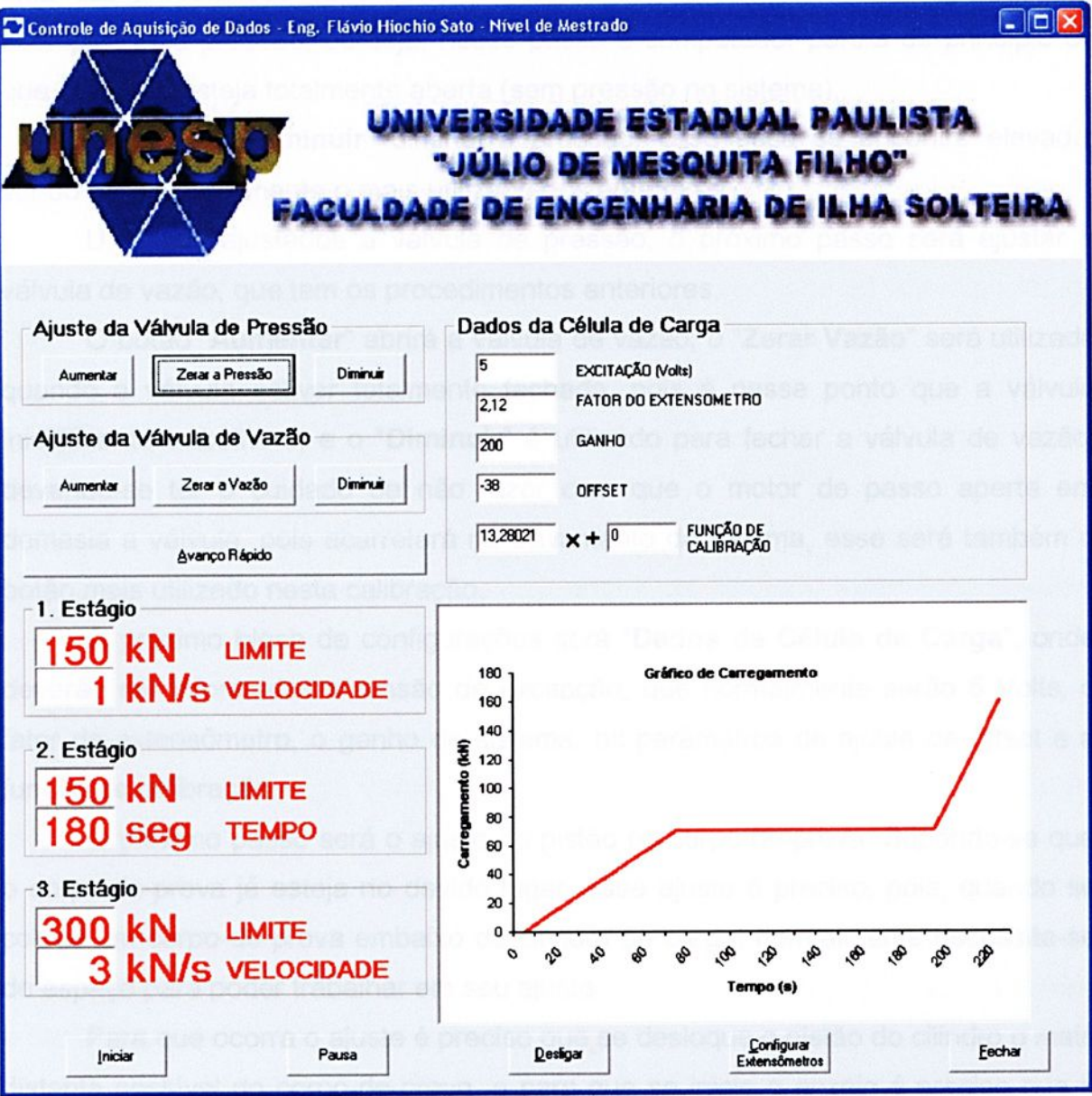


Figura 35 - Tela do Programa de Controle

Inicialmente deve-se fazer o ajuste da válvula de pressão, pois o programa tem a informação do limite do eixo da válvula, mas não tem a posição da mesma quando se desliga a bomba elétrica manualmente.



Têm-se três botões para essa finalidade, o primeiro **“Aumentar”** aumenta a pressão no sistema, o computador automaticamente liga a bomba hidráulica e o técnico poderá acompanhar a evolução da pressão acionando o botão do mostrador de pressão na bomba hidráulica elétrica.

O segundo **“Zerar Pressão”** é utilizado quando a pressão desejada é atingida; uma vez pressionado esse botão o computador zera a variável designada para acompanhar a pressão, ou seja, nesse passo o computador partirá do princípio de que a válvula esteja totalmente aberta (sem pressão no sistema).

O terceiro **“Diminuir”** diminui a pressão, caso essa se encontre elevada, sendo esse teoricamente o mais utilizado dos anteriores.

Uma vez ajustados a válvula de pressão, o próximo passo será ajustar a válvula de vazão, que tem os procedimentos anteriores.

O botão **“Aumentar”** abrirá a válvula de vazão; o **“Zerar Vazão”** será utilizado quando a válvula estiver totalmente fechada, pois é nesse ponto que a válvula inicialmente trabalhará, e o **“Diminuir”** é utilizado para fechar a válvula de vazão, devendo-se ter o cuidado de não fazer com que o motor de passo aperte em demasia a válvula, pois acarretará no travamento da mesma, esse será também o botão mais utilizado nesta calibração.

O próximo bloco de configurações será **“Dados da Célula de Carga”**, onde deverão ser informados a tensão de excitação, que normalmente serão 5 Volts, o fator de extensômetro, o ganho do sistema, os parâmetros de ajuste de offset e a função de calibração.

O próximo passo será o ajuste do pistão no corpo-de-prova. Supondo-se que o corpo-de-prova já esteja no devido lugar, esse ajuste é preciso, pois, quando se coloca um corpo-de-prova embaixo do cilindro de carga, normalmente necessita-se de espaço para poder trabalhar em seu ajuste.

Para que ocorra o ajuste é preciso que se desloque o pistão do cilindro o mais distante possível do corpo-de-prova, e para que se inicie o ensaio é preciso que o pistão esteja em contato com o corpo-de-prova, caso contrário, como as válvulas estarão praticamente fechadas inicialmente demorar-se-á um tempo razoável até que o pistão toque o corpo-de-prova.



O botão **“Avanço Rápido”** tem justamente essa finalidade, ele aciona a bomba hidráulica elétrica, aumenta a vazão e inicia-se a descida do pistão a uma velocidade maior, assim que a célula de carga receber o sinal, o computador, que está previamente ajustado para o menor contado do pistão com o corpo-de-prova, faz com que o sistema pare curso do mesmo, volte as válvulas na posição inicial, ficando pronto para o ensaio.

Nas caixas de ensaios (Estágios) podem-se colocar os limites em que o sistema trabalhará, na primeira caixa de texto deve-se colocar o valor limite em kN que o sistema deverá atingir até a parada, e a segunda caixa deverá ser preenchida com o valor da velocidade em kN/s para que haja o ajuste de pressão e vazão na bomba hidráulica elétrica.

Caso haja mais de um estágio, deverão ser preenchidas as outras caixas de texto. Quando se tratar de carregamento constante deve-se inserir o tempo (em segundos) em que a carga permanecerá constante. O sistema inicialmente está ajustado para três estágios de carga, nada impedindo que fosse efetuado mais estágios, mediante um pequeno ajuste no programa.

O botão **“Iniciar”** tem por finalidade iniciar o ensaio programado anteriormente. Ele verifica se todos os parâmetros mínimos estão programados, para que o ensaio seja iniciado. Se o sistema de aquisição estiver desligado, o programa emite uma mensagem de alerta, descrevendo o que poderá estar errado. Caso tudo esteja correto, o sistema começa a funcionar, sendo inicialmente lidos os valores da célula de carga, transformados em μE (micro-strain), e posteriormente em convertidos em KN.

O botão **“Pausa”** tem por finalidade parar o ensaio caso haja alguma necessidade de interromper o funcionamento do sistema. Neste ponto o computador não desliga a bomba e mantém o carregamento, podendo-se prosseguir o ensaio pressionando-se o botão novamente.

O botão **“Desligar”** tem por finalidade desligar a bomba hidráulica elétrica por qualquer motivo, diferentemente do botão **“Pausa”** ele desliga completamente o sistema.

O botão **“Configurar Extensômetros”** abre a tela de configuração dos strain-gages, mostradas a seguir.

O botão **“Fechar”** finaliza o programa.



7.3.2. TELA DA CONFIGURAÇÃO DOS MÓDULOS DE STRAIN-GAGES

A figura a seguir mostra a tela de configuração dos módulos suportáveis pelo sistema de aquisição adquirido.

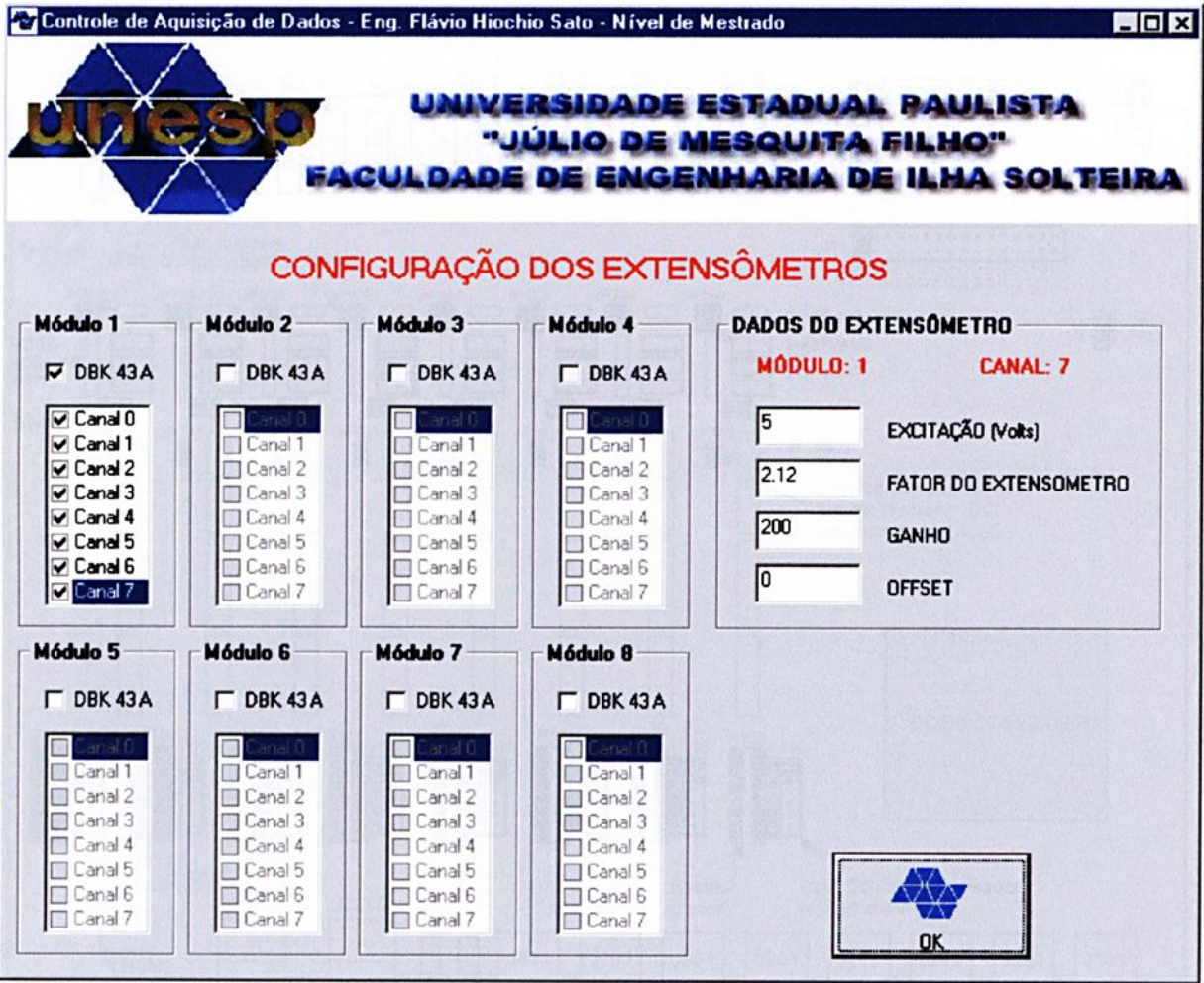


Figura 36 - Tela de configuração dos módulos de strain-gages

Cada módulo de strain-gages possui 8 entradas analógicas. Portanto, o sistema que foi automatizado possui um total de 48 pontos de aquisição, sendo que o 1º canal foi utilizado para a célula de carga que servirá de guia para o controle do sistema. Os demais poderão ser configurados para a aquisição.

Nesta tela deverão ser adicionados os módulos sequencialmente, dependendo da quantidade de pontos a serem lidos, cada canal poderá conter todas as constantes diferentes entre si.



Antes de se inserir os valores dos dados dos extensômetros deve-se calibrá-los no sistema de aquisição de dados, pois cada módulo DBK 43A tem ajuste manual de ganho de escala (SCA), ganho (GAIN), offset (OFST) e excitação (EXC), conforme a figura abaixo, na parte superior. Na parte inferior encontram-se os conectores para a colocação dos conectores dos extensômetros.

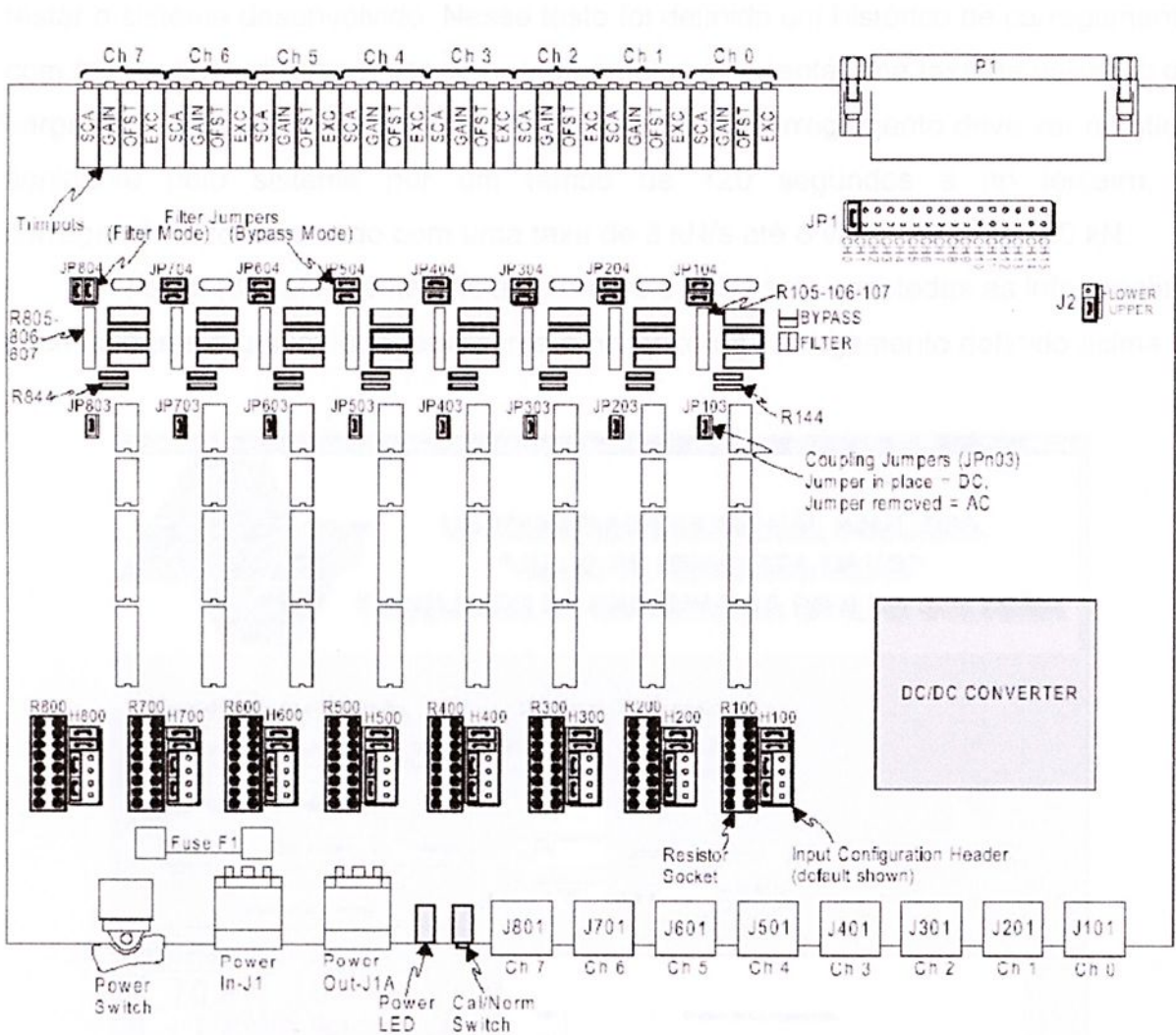


Figura 37 - Layout da placa de circuito impresso do módulo de strain-gages

Os ajustes devem ser efetuados para todos os extensômetros conectados. Se o ensaio for efetuado em outro dia, deverá haver uma nova calibração, pois os extensômetros são suscetíveis a variações de temperatura e outros fatores.

Apresentam-se a seguir os resultados de uma das simulações efetuadas para testar o sistema desenvolvido. Nesse teste foi definido um histórico de carregamento com três trechos distintos, sendo que o primeiro apresenta uma taxa de variação de carga de 1 kN/s até o valor de 70 kN; no segundo o carregamento deve ser mantido constante pelo sistema por um tempo de 120 segundos e no terceiro, o carregamento foi retomado com uma taxa de 3 kN/s até o valor limite de 140 kN.

A figura (38) apresenta a tela de controle do ensaio com todas as informações necessárias e o gráfico que representa o histórico de carregamento definido acima.

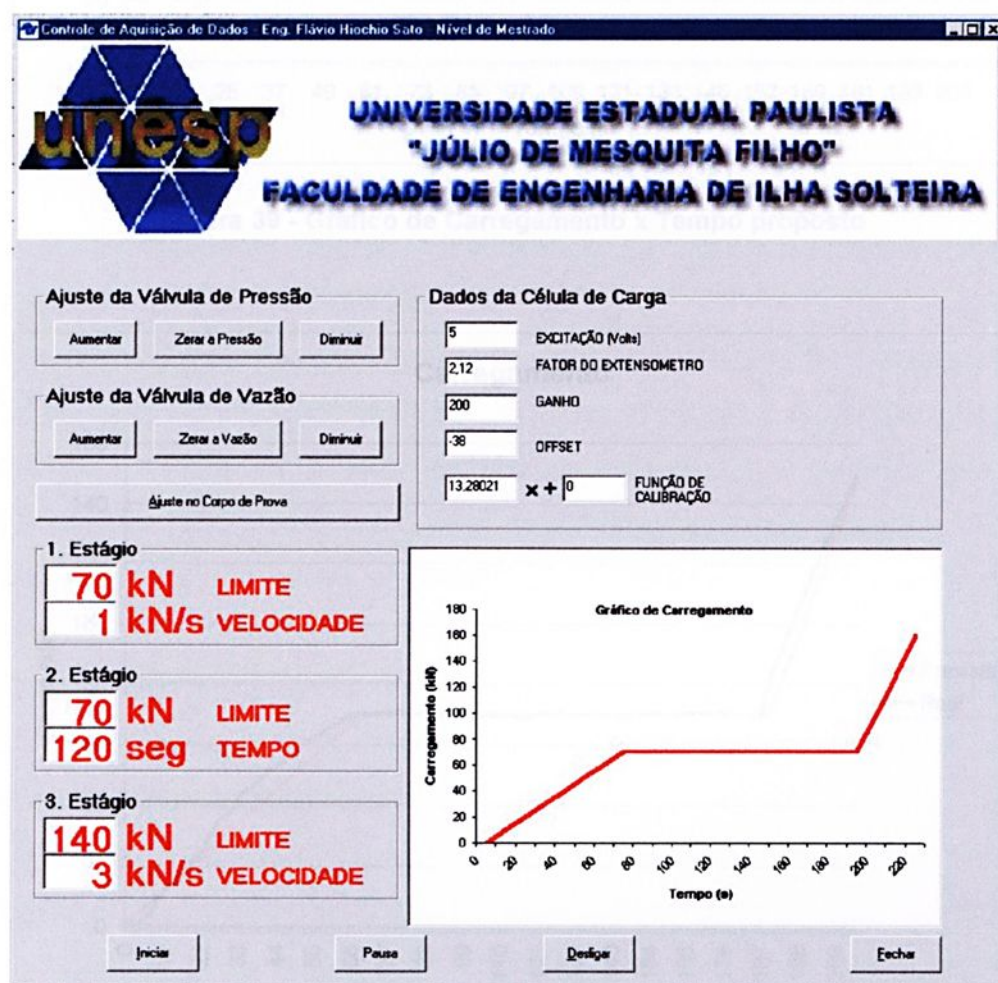


Figura 38 - Ensaio de Carregamento

As figuras (39) e (40) apresentam o histórico de carregamento proposto e a resposta do sistema ajustado ao que foi definido, respectivamente.

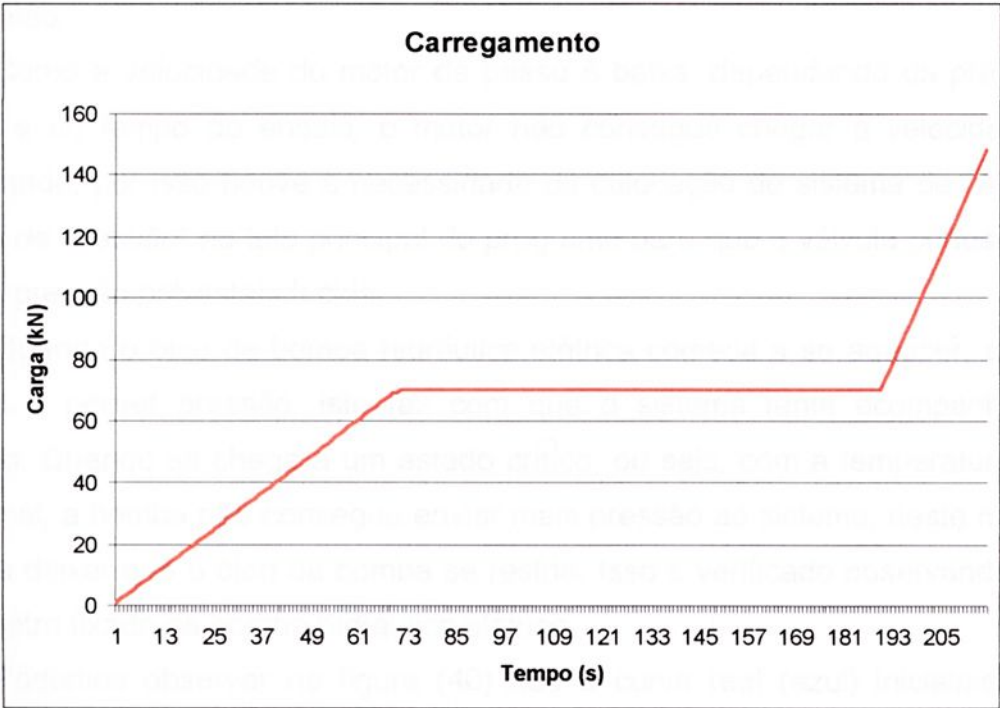


Figura 39 - Gráfico de Carregamento x Tempo proposto

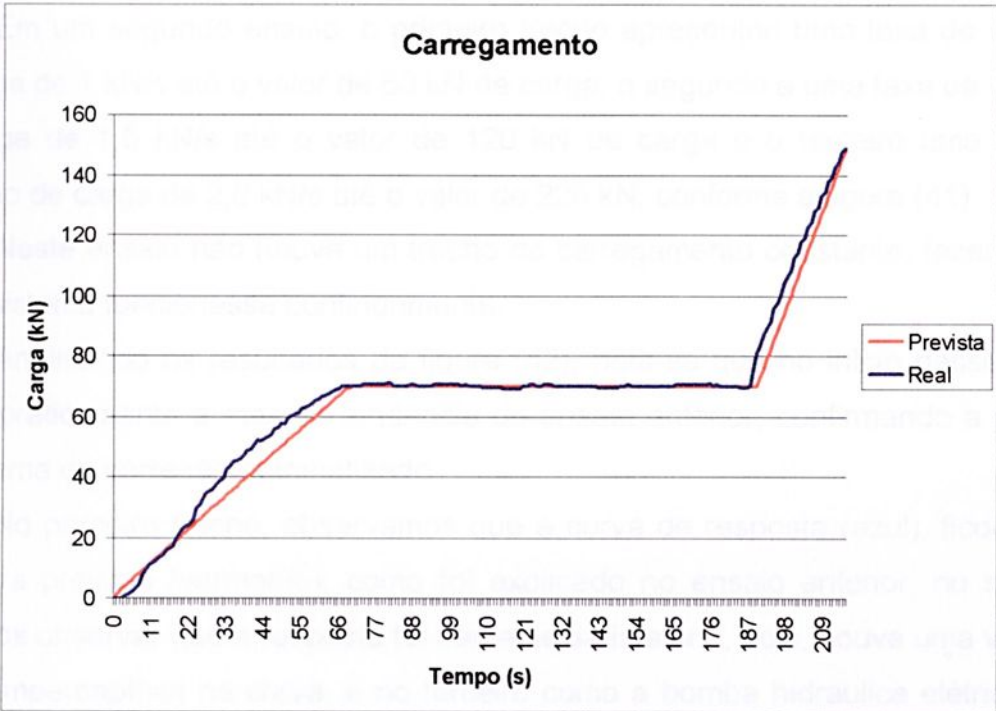


Figura 40 - Gráfico com ajuste do programa

Inicialmente modificou-se o sistema de controle da válvula de pressão, pois como foi comentado anteriormente, houve a necessidade da adaptação de uma amplificação de torque, para que o motor de passo pudesse abrir ou fechar a válvula de pressão.

Como a velocidade do motor de passo é baixa, dependendo da pressão de partida e do tempo do ensaio, o motor não consegue chegar à velocidade pré-programada, por isso houve a necessidade da colocação do sistema de "*Ajuste da Válvula de Pressão*" na tela principal do programa para que a válvula pudesse partir de uma pressão pré-estabelecida.

Quando o óleo da bomba hidráulica elétrica começa a se aquecer, a bomba começa a perder pressão, isto faz com que o sistema tente acompanhar esta variação. Quando se chega a um estado crítico, ou seja, com a temperatura acima do normal, a bomba não consegue enviar mais pressão ao sistema; neste momento deve-se deixar que o óleo da bomba se resfrie. Isso é verificado observando-se um termômetro fixado na bomba hidráulica elétrica.

Podemos observar na figura (40) que a curva real (azul) inicialmente fica abaixo da curva prevista (vermelho), isto se deve ao fato de que a válvula de pressão parte totalmente aberta, necessitando de alguns segundos para que se ajuste à velocidade pré-estabelecida.

Em um segundo ensaio, o primeiro trecho apresentou uma taxa de variação de carga de 1 kN/s até o valor de 60 kN de carga, o segundo a uma taxa de variação de carga de 1,5 kN/s até o valor de 120 kN de carga e o terceiro uma taxa de variação de carga de 2,0 kN/s até o valor de 220 kN, conforme a figura (41).

Neste ensaio não houve um trecho de carregamento constante, fazendo com que o sistema funcionasse continuamente.

Analisando os resultados da figura (42), nota-se que no início desse ensaio houve praticamente a mesma tendência do ensaio anterior, confirmando a atuação do sistema de correção automatizado.

No primeiro trecho, observamos que a curva de resposta (azul), ficou acima da curva prevista (vermelha), como foi explicado no ensaio anterior, no segundo podemos observar que a resposta foi bastante satisfatória, pois, houve uma variação quase imperceptível na curva, e no terceiro como a bomba hidráulica elétrica já se encontrava em seu limite (150 kN).



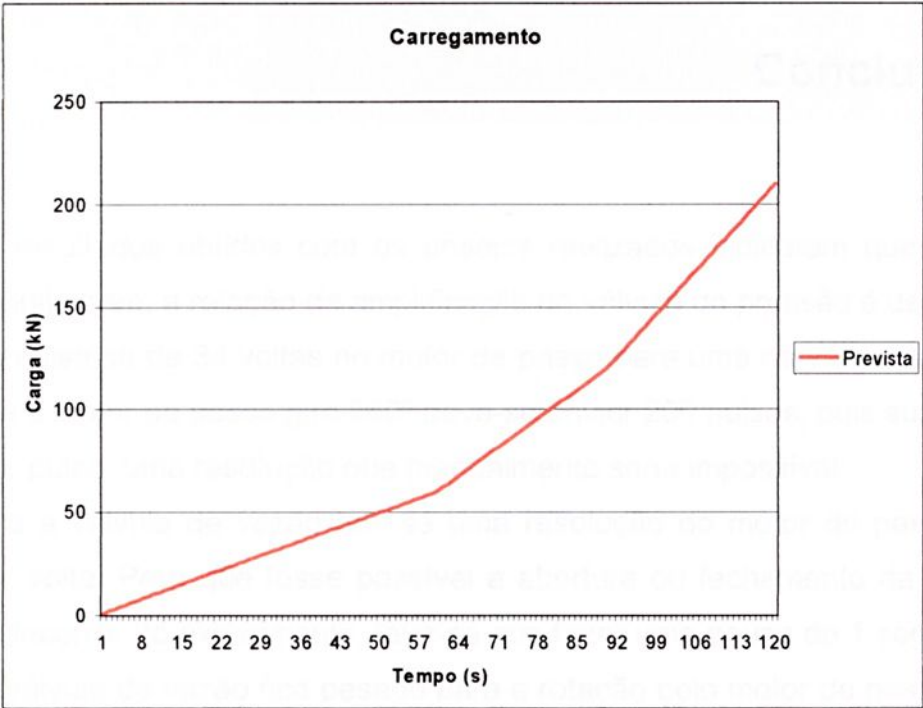


Figura 41 - Gráfico de carregamento contínuo crescente proposto

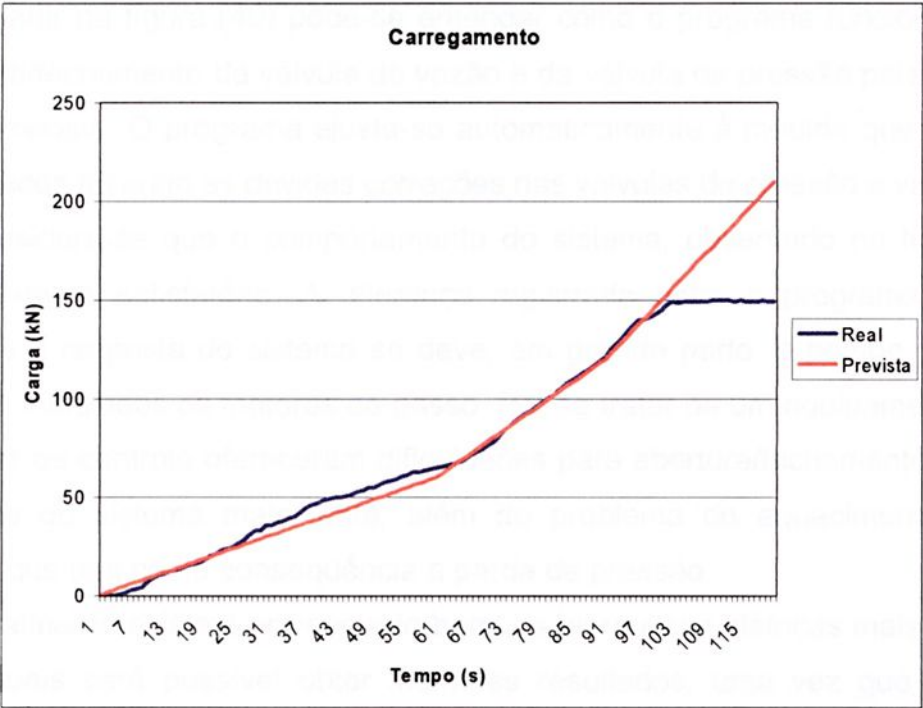


Figura 42 - Gráfico de resposta do carregamento contínuo crescente

Assim, acredita-se que tenha sido desenvolvido um sistema de grande importância para os laboratórios experimentais, onde o controle de velocidade de carga é um fator importante para a compreensão do comportamento e dos resultados obtidos dos corpos-de-prova ensaiados.

Outra grande vantagem do sistema de controle desenvolvido é sua facilidade de ser adaptado a qualquer sistema de ensaios, por ser composto de uma bomba hidráulica elétrica, um sistema de aquisição de dados e um microcomputador.

Evidentemente que novos ajustes deverão ser implementados no sistema, de modo a torná-lo cada vez mais prático e eficiente, com pequenas modificações podemos ter também no sistema um controle de deformação, uma vez que os procedimentos de controle são os mesmos.





Conclusões

Os resultados obtidos com os ensaios realizados indicaram que o sistema funciona muito bem, a relação da amplificação da válvula de pressão é de 1 para 34, ou seja, precisa-se de 34 voltas no motor de passo para uma na válvula de pressão e para que o motor de passo gire 360° deve-se enviar 200 pulsos, pois sua relação é de $1,8^\circ$ por pulso, uma resolução que manualmente seria impossível.

Para a válvula de vazão tem-se uma resolução do motor de passo de 200 pulsos por volta. Para que fosse possível a abertura ou fechamento da válvula de vazão no decorrer do experimento, teve-se que fazer uma pausa de 1 segundo, pois o eixo da válvula de vazão fica pesado para a rotação pelo motor de passo; mesmo assim, foi possível obter um bom resultado com relação ao funcionamento de todo o sistema, o que manualmente seria impraticável.

A partir da figura (40) pode-se entender como o programa funciona, através da abertura/fechamento da válvula de vazão e da válvula de pressão para ajustar-se à curva proposta. O programa ajusta-se automaticamente à medida que as leituras são realizadas fazendo as devidas correções nas válvulas de pressão e vazão.

Considera-se que o comportamento do sistema, observado na figura (40 e 42), é bastante satisfatório. A diferença registrada entre o programa de carga proposto e a resposta do sistema se deve, em grande parte, à bomba de óleo na qual foram instalados os motores de passo. Por se tratar de um equipamento antigo, as válvulas de controle ofereceram dificuldades para abertura/fechamento, tornando a resposta do sistema mais lenta, além do problema do aquecimento do óleo hidráulico que tem como consequência a perda de pressão.

Atualmente existem no mercado bombas hidráulicas elétricas mais modernas com as quais será possível obter melhores resultados, uma vez que o sistema desenvolvido no presente trabalho pode ser acoplado a qualquer tipo de bomba hidráulica elétrica, com pequenos ajustes, obedecendo também à temperatura de trabalho da bomba hidráulica elétrica.



Como sugestão podem-se propor os seguintes itens:

- Implementações de novos ajustes no sistema de modo a torná-lo cada vez mais prático e eficiente;
- Implantação de velocidade de deformação constante realizando-se apenas alguns ajustes no sistema apresentado;
- Adaptação de vários atuadores no sistema, como por exemplo, carregamento lateral;
- Colocação do gráfico de resposta junto com o histórico de carregamento com velocidade real;
- Estudo para o controle de ensaios dinâmicos;
- Estudo da adaptação em novas válvulas de pressão e vazão;
- Desenvolvimento de um *driver* micro-controlado para os motores de passo, sem a necessidade da utilização do microcomputador para esta finalidade;

BARRETO JR.E. Instrumentação e extensometria – Módulo I: Aprenda extensometria. Ilha Solteira: 1998. 82p.

CASTRUCCI, P. ; SALES, R.M. Série controle automático de sistemas dinâmicos - Controle digital, Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo:1990. 171p.

DRISCOLL, F. F, COUGHLIN, R.F., VILLANUCCI, R.S. Data Acquisition and Process Control With The M68HC11 Microcontroller – Second Edition ,– Ed. Prentice Hall Inc. – 2000.

EVANGELOS, P. Dominando o Visual Basic 6 – “A Bíblia”, Ed Makron Books Ltda., São Paulo: 1999, 1126p.

GUREWICH, N.-Visual Basic 3.0 for Windows - Guia do Programador, Ed. Berkeley, Rio de Janeiro: 1995. 747p.

GUTIERREZ, M.A. Microsoft Visual Basic 4 For Windows 95. Database Know-How,Ed. Axcel Books, 1996, 703p.

HENDRY, A.W. Structural Masonry. Hong Kong: Macmillan Press Ltd., 1998 (1ª edição 1990). 294p.

IOTECH Programmer's Manual – Producing Custom Software For Data Acquisition Systems, Estados Unidos da América, 2002.

IOTECH DaqBook / DaqBoard [ISA] / Daq PC-Card User's Manual – Data Acquisition for Notebook and Desktop PCs, Estados Unidos da América, 2000.

NUNES, E. Microsoft Visual Basic – Versão 4 – Guia do Usuário Brasileiro, Ed. Makron Books, São Paulo: 1995. 348p.

SARTORI, J.L.; CAMARGO, L.A.S.; FERRO, J.R. Convertendo sinais analógicos em sinais digitais. Saber Eletrônica, Editora Saber, Nº304, 1998. pp. 28-30.

WERNECK, M.M. Transdutores e Interfaces — LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. – Rio de Janeiro – RJ – 1996.

ZUFFO, J.A. Microprocessadores: dutos do sistema, técnicas de interface e sistemas de comunicação de dados, Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo:1981. 535p.





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Câmpus de Ilha Solteira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Av. Brasil Centro, 56
15385-000 Ilha Solteira - SP
www.dec.feis.unesp.br

