

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

**RECUPERAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DE UM  
EQUIPAMENTO HIDRÁULICO PARA TESTES ESTÁTICOS E  
DINÂMICOS NO LABORATÓRIO DE ESTRUTURAS DO  
CENTRO TECNOLÓGICO DA UFES**

FABRICIO MENEGASSI

GILIARD ANTUNES MATOS

Vitória – ES, Julho de 2006.

**FABRÍCIO MENEGASSI  
GILIARD ANTUNES MATOS**

**RECUPERAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DE UM  
EQUIPAMENTO HIDRÁULICO PARA TESTES ESTÁTICOS E  
DINÂMICOS NO LABORATÓRIO DE ESTRUTURAS DO  
CENTRO TECNOLÓGICO DA UFES**

Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo como requisição parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Vitória – ES, Julho de 2006.

**FABRÍCIO MENEGASSI  
GILIARD ANTUNES MATOS**

**RECUPERAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DE UM  
EQUIPAMENTO HIDRÁULICO PARA TESTES ESTÁTICOS E  
DINÂMICOS NO LABORATÓRIO DE ESTRUTURAS DO  
CENTRO TECNOLÓGICO DA UFES**

COMISSÃO EXAMINADORA

---

**Prof. Dr. Marcos Aurélio Scopel Simões**  
**Orientador**

---

**Prof. Dr. Walnório Graça Ferreira**  
**Examinador**

---

**Prof. Msc. Osvaldo Paiva Almeida Filho**  
**Examinador**

Vitória – ES, Julho de 2006.

*Dedicamos este trabalho ao nosso Deus e  
Senhor pela vitória, aos nossos familiares por  
acreditarem em nós, aos professores e mestres por  
todos ensinamentos, e colegas e amigos pelos  
momentos de alegria e descontração.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos aos professores e mestres que nos ensinaram e conduziram, aos funcionários que nos auxiliaram e orientaram, e aos amigos que tantos momentos de alegria e dificuldade compartilharam conosco no decorrer de todo o curso de graduação em Engenharia Mecânica. Juntos os obstáculos foram menores.

Agradecemos aos Professores Walnório Graça Ferreira e Fernando Lordeiro, do departamento de Engenharia Civil da Ufes, por ter nos cedido total acesso às dependências do laboratório de ensaios de estruturas metálicas, as informações necessárias sobre o equipamento hidráulico para ensaios de compressão em estruturas metálicas, assim como documentos técnicos e manuais do equipamento e também fontes de informações e dados a respeito de estruturas metálicas.

Agradecemos ao engenheiro André Mansur Fontani, por todo conhecimento em automação e auxílio disponibilizados.

E principalmente, agradecemos ao Professor Marcos Aurélio Scopel Simões que nos acolheu como o orientador deste projeto.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	Objetivo.....	12
1.2	Estrutura do Trabalho.....	13
<b>2</b>	<b>ANÁLISE DAS NECESSIDADES .....</b>	<b>14</b>
2.1	Identificação do Objetivo Final do Equipamento de Testes Estáticos e Dinâmicos em Estruturas Metálicas .....	14
2.1.1	Produto a Ser Trabalhado – Perfis de Aços Estruturais .....	14
<b>3</b>	<b>LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS FUNÇÕES DO SISTEMA DE COMPRESSÃO ATUAL .....</b>	<b>27</b>
3.1	Equipamento Atual .....	27
3.1.1	Grupo Pulsador .....	28
3.1.2	Mesa de Manobra e Medição .....	30
3.2	Diagramas Hidráulico e Elétrico.....	31
3.3	Lista de Equipamentos do Sistema de Testes de Compressão em Estruturas Metálicas.....	35
3.3.1	Lista de Equipamentos do Sistema Hidráulico .....	35
3.3.2	Princípios de Funcionamento Principais dos Equipamentos do Sistema de Testes de Compressão em Estruturas Metálicas .....	35
3.4	Descrição dos Processos e dos Procedimentos dos Testes de Compressão Estático e Dinâmico na Atual Configuração .....	37
3.4.1	Descrição do Processo Para o Teste Estático .....	37
3.4.2	Descrição do Processo Para o Teste Dinâmico .....	38
3.4.3	Procedimentos Para a Realização dos Testes .....	40
<b>4</b>	<b>ESTUDO DO SISTEMA DE TESTE DE COMPRESSÃO AUTOMATIZADO EM ESTRUTURAS METÁLICAS .....</b>	<b>42</b>
4.1	Proposta de Sistemas de Compressão .....	42
4.2	Arquitetura do Projeto.....	43
4.3	Lista de Equipamentos do Sistema de Teste de Compressão Automatizado.....	43

4.3.1	Funções e Características Principais dos Componentes do Sistema Automatizado de Testes de Compressão em Estruturas Metálicas.....	44
4.4	Descrição de Execução do Sistema Automatizado de Testes de Compressão Estático e Dinâmico .....	45
4.4.1	Procedimentos Para a Realização dos Testes .....	45
4.5	Aplicabilidade e Público Alvo do Sistema Automatizado de Teste de Compressão em Estruturas Metálicas .....	47
4.6	Tela de Apresentação .....	47
<b>5</b>	<b>ORÇAMENTO .....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>48</b>
6.1	Melhorias da Nova Concepção em Relação à Concepção Atual .....	48
6.2	Sugestões para Continuidade do Projeto.....	49
6.3	Conclusão .....	50
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>50</b>
	<b>ANEXO - SUGESTÃO DE CIRCUITO PARA ACIONAMENTO DE RELÉ (MÓDULO DE INTERFACE DIGITAL IN/ RELÉ OUT) .....</b>	<b>56</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Viga de Seção I .....	19
Figura 2 – Viga de Concreto Armado .....	20
Figura 3 – Participação de Estruturas de Concreto .....	25
Figura 4 – Participação de Estruturas de Aço .....	25
Figura 5 – Evolução da Participação no Mercado.....	26
Figura 6 – Evolução das Vendas de Aço Para Estrutura .....	26
Figura 7 – Grupo Pulsador.....	28
Figura 8 – Mesa de Manobra e Medição .....	30
Figura 9 – Diagrama Hidráulico da Atual Configuração .....	32
Figura 10 – Diagrama Elétrico da Atual Configuração.....	34
Figura 11 – Layout do Sistema.....	43
Figura 12 – Representação da Tela de Apresentação .....	47



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos Aços Estruturais.....	16
Tabela 2 – Composição Química e Propriedades Mecânicas.....	18
Tabela 3 – Lista de Equipamentos do Sistema Hidráulico.....	35
Tabela 4 – Lista de Equipamentos do Sistema Automatizado .....	43
Tabela 5 – Orçamento da Concepção Automatizada .....	48

## SIMBOLOGIA

- ASTM – American Society for Testing Materials;
- B1 – Reservatório Principal de Óleo;
- B2 – Reservatório Auxiliar de Óleo;
- bf - Largura da Mesa de Viga de Seção I ;
- tf – Espessura da Mesa de Viga de Seção I;
- C – Elemento Químico Carbono;
- C1 – Relé de Contato;
- Cr – Elemento Químico Cromo;
- Cu – Elemento Químico Cobre;
- d – Altura da Seção Transversal de Viga de Seção I e Altura Útil de Viga de Concreto;
- D1 – Dinamômetro;
- D2 – Dinamômetro;
- e1,...,e5 – Fusíveis para Proteção de Sobrecarga da Rede Elétrica;
- e6 – Relé Térmico;
- F1 – Filtro Localizado na Saída da Válvula de Limitação de Pressão da Bomba de Pistões Radiais;
- F2 – Filtro Localizado Entre Válvulas de Estrangulamento e Reservatório Principal;
- F3 – Filtro Localizado Anterior ao Elemento de Regulação Magnética;
- h – Altura da Alma de Viga de Seção I e Altura Total de Vigas de Concreto;
- h1 – Mecanismo Contador Elétrico;
- IBS – Instituto Brasileiro de Siderurgia;
- K1 – Vigia de Nível de Óleo de Reservatório;
- K2 – Vigia de Nível de Óleo de Reservatório;
- M1 – Motor Elétrico de Acionamento;
- Me2 – Manômetro;
- MKS – Elemento de Regulação Magnética;
- Mn –Elemento Químico Manganês;
- Mo – Elemento Químico Molibdênio;
- Mpa – Unidade de Pressão;
- MV2 – Válvula de Estrangulamento Localizada Anterior ao Manômetro;
- Nb – Elemento Químico Nióbio;
- NBR – Norma Brasileira Registrada;
- Ni – Elemento Químico Níquel;

NI – Placa de Aquisição de Dados;  
P – Elemento Químico Fósforo;  
P1 – Bomba de Pistões Radiais;  
PC – Microcomputador;  
PIC – Microcontrolador;  
PLC – Programador Controlador Lógico;  
S – Elemento Químico Enxofre;  
Si – Elemento Químico Silício;  
tw – Espessura da Alma de Viga de Seção I;  
V – Elemento Químico Vanádio;  
VD1 – Válvula Limitadora de pressão;  
VDr1 – Válvula de Estrangulamento Para Regulagem de Pressão Mínima;  
VDr2 – Válvula de Estrangulamento Para Regulagem de Pressão Mínima;  
VW1 – Válvula Direcional de Comando manual;  
VW2 – Válvula Direcional de Comando Hidráulico;  
VW3 – Chave Seletora de Intensidade do Sistema de Compressão;  
Z1,...,z8 – Saídas do Distribuidor de Pressão Para os Cilindros de Prova;

## **RESUMO**

O presente projeto apresenta uma proposta de modernização de um equipamento hidráulico destinado ao estudo e análise de testes estáticos e dinâmicos de compressão em elementos estruturais do laboratório de estruturas metálicas da Universidade Federal do Espírito Santo. O projeto visa o alinhamento de um equipamento desenvolvido em outros tempos, e outra tecnologia, fabricado na Alemanha Oriental, com o que há disponível atualmente no mercado, levando em conta a viabilidade e assim alcançando um alto índice de custo-benefício relacionado ao investimento no projeto.

Foram empregados métodos e análises estudadas durante a graduação em Engenharia Mecânica para o estudo dos princípios do sistema automatizado e de todos os novos componentes do sistema acima citado, bem como as análises de propostas disponíveis em mercado.

## **ABSTRACT**

The present project presents a modernization proposal of hydraulic equipment destined to the study and analysis of static and dynamic tests of compression in steel structures of the laboratory of metallic structures of Universidade Federal do Espírito Santo. The project seeks the alignment of equipment developed in old times, and other technology, manufactured in Eastern Germany, with what there is available now in the market, taking into account the viability and like this reaching a high cost-benefit index related to the investment in the project.

Methods and analyses studied during the graduation in Mechanical Engineering for the study of the beginnings of the automated system were used and of all the new components of the system above mentioned, as well as the analyses of available proposals in market.

# 1 Introdução

A construção civil atualmente vem se destacando como um dos setores de maior crescimento dentro do mercado mundial e o avanço de novas tecnologias e da pesquisa tem se tornado uma tendência. A necessidade de buscar novos caminhos e soluções torna a ciência aliada a essa realidade.

No Brasil há poucos anos o uso de estruturas metálicas nas áreas da construção industrial e comercial eram pouco conhecidas, na área da construção residencial, o assunto nem era cogitado, seja por arquitetos e engenheiros e muito menos pelos proprietários. Diversos fatores histórico-culturais decorrentes da falta de produtos siderúrgicos adequados colaboraram com essa realidade. Característica que somente nos últimos cinquenta anos começou a se modificar

Ao mesmo passo, a automação tem se tornado uma grande ferramenta da tecnologia, da ciência e do desenvolvimento, estando presente na maioria dos processos produtivos, e cada vez mais mostrando suas vantagens.

É nessa realidade que este projeto se insere, aliando a tecnologia e o conhecimento aos atuais caminhos do desenvolvimento da construção civil.

## 1.1 Objetivo

Projetar um sistema automatizado de teste de compressão estáticos e dinâmicos, usando como estrutura um sistema hidráulico de teste de compressão datado de 1969, oriundo da antiga Alemanha Oriental, especificando seus novos componentes e relatando melhorias e vantagens em relação ao projeto original.

## 1.2 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 1 relata uma breve introdução sobre o assunto a ser trabalhado, o objetivo do e a estrutura em que este projeto foi elaborado.

O Capítulo 2 descreve a análise das necessidades, ou seja, as características gerais do produto do sistema de compressão, os aços estruturais, apresentam. Como por exemplo, classificação, tipos, composição, etc.

O Capítulo 3 analisa o atual sistema de teste de compressão, bem como suas características, diagramas hidráulico e elétrico, lista de equipamentos e suas características, descrição do processo e um procedimento de operação para cada tipo de teste.

O Capítulo 4 apresenta um estudo da proposta de automação do sistema de compressão, sendo assim, os diagramas hidráulico e elétrico da nova concepção, os novos componentes, os procedimentos do mesmo e os dados de entrada e saída do sistema.

O Capítulo 5 descreve o orçamento do projeto automatizado, relacionando seus novos componentes com os seus valores de mercado, e sendo assim possibilitando a análise do custo do projeto.

Finalizando, o Capítulo 6 trás as considerações finais, comparação entre as concepções atual e nova e sugestões de continuidade deste projeto.

## **2 Análise das Necessidades**

Neste capítulo serão abordadas as características fundamentais que o produto acabado, perfis para estruturas metálicas, apresenta.

### **2.1 Identificação do Objetivo Final do Equipamento de Testes Estáticos e Dinâmicos em Estruturas Metálicas**

Antes de analisar as várias necessidades ou características, é importante que o objetivo final do equipamento de testes de perfis de aços estruturais seja devidamente identificado.

#### **2.1.1 Produto a Ser Trabalhado – Perfis de Aços Estruturais**

##### **2.1.1.1 Definição**

Podemos definir o aço como sendo uma liga Ferro-Carbono, contendo geralmente de 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos secundários (como Silício, Manganês, Fósforo e Enxofre), presentes devido aos processos de fabricação.

##### **2.1.1.2 Aços Estruturais**

O aço é a mais versátil e a mais importante das ligas metálicas. A produção mundial de aço, no ano de 2003, foi superior a 945 milhões de toneladas. Cerca de 100 países produzem aço, e o Brasil é considerado o 9º produtor mundial.

O aço é produzido em uma grande variedade de tipos e formas, cada qual atendendo eficientemente a uma ou mais aplicações. Esta variedade decorre da necessidade de contínua adequação do produto às exigências de aplicações específicas que vão surgindo no mercado, seja pelo controle da composição química, seja pela garantia de propriedades específicas ou, ainda, na forma final (chapas, perfis, tubos, barras, etc.).

Existem mais de 3500 tipos diferentes de aços e cerca de 75% deles foram desenvolvidos nos últimos 20 anos. Isso mostra a grande evolução que o setor tem experimentado.

Os aços-carbono possuem em sua composição apenas quantidades limitadas dos elementos químicos carbono, silício, manganês, enxofre e fósforo. Outros elementos químicos existem apenas em quantidades residuais.

A quantidade de carbono presente no aço define sua classificação. Os aços de baixo carbono possuem um máximo de 0,3% deste elemento e apresentam grande ductilidade. São bons para o trabalho mecânico e soldagem, não sendo temperáveis, utilizados na construção de edifícios, pontes, navios, automóveis, dentre outros usos. Os aços de médio carbono possuem de 0,3% a 0,6% de carbono e são utilizados em engrenagens, bielas e outros componentes mecânicos. São aços que, temperados e revenidos, atingem boa tenacidade e resistência. Aços de alto carbono possuem mais do que 0,6% de carbono e apresentam elevada dureza e resistência após têmpera. São comumente utilizados em trilhos, molas, engrenagens, componentes agrícolas sujeitos ao desgaste, pequenas ferramentas etc.

Na construção civil, o interesse maior recai sobre os chamados aços estruturais de média e alta resistência mecânica, termo designativo de todos os aços que, devido à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são adequados para a utilização em elementos da construção sujeitos a carregamento. Os principais requisitos para os aços destinados à aplicação estrutural são: elevada tensão de escoamento, elevada tenacidade, boa soldabilidade, homogeneidade microestrutural, susceptibilidade de corte por chama sem endurecimento e boa trabalhabilidade em operações tais como corte, furação e dobramento, sem que se originem fissuras ou outros defeitos.

### **2.1.1.3 Classificação dos Aços Estruturais**

Os aços estruturais podem ser classificados em três grupos principais, conforme a tensão de escoamento mínima especificada:



**Tabela 1 – Classificação dos Aços Estruturais**

<b>Tipo</b>	<b>Limite de Escoamento Mínimo, MPa</b>
Aço carbono de média resistência	195 a 259
Aço de alta resistência e baixa liga	290 a 345
Aços ligados tratados termicamente	630 a 700

Dentre os aços estruturais existentes atualmente, o mais utilizado e conhecido é o ASTM A36, que é classificado como um aço carbono de média resistência mecânica. Entretanto, a tendência moderna no sentido de se utilizar estruturas cada vez maiores tem levado os engenheiros, projetistas e construtores a utilizar aços de maior resistência, os chamados aços de alta resistência e baixa liga, de modo a evitar estruturas cada vez mais pesadas.

Os aços de alta resistência e baixa liga são utilizados toda vez que se deseja:

- 1) Aumentar a resistência mecânica permitindo um acréscimo da carga unitária da estrutura ou tornando possível uma diminuição proporcional da seção, ou seja, o emprego de seções mais leves;
- 2) Melhorar a resistência à corrosão atmosférica;
- 3) Melhorar a resistência ao choque e o limite de fadiga;
- 4) Elevar a relação do limite de escoamento para o limite de resistência à tração, sem perda apreciável da ductilidade.

Dentre os aços pertencentes a esta categoria, merecem destaque os aços de alta resistência e baixa liga resistentes à corrosão atmosférica. Estes aços foram apresentados ao mercado norte-americano em 1932, tendo como aplicação específica a fabricação de vagões de carga. Desde o seu lançamento até nossos dias, desenvolveram-se outros aços com comportamentos semelhantes, que constituem a família dos aços conhecidos como patináveis. Enquadrados em diversas normas, tais como as normas brasileiras NBR 5008, 5920, 5921 e 7007 e as norte-americanas ASTM A242, A588 e A709, que especificam limites de composição química e propriedades mecânicas, estes aços têm sido utilizados no mundo inteiro na construção de pontes, viadutos, silos, torres de transmissão de energia, etc. Sua grande vantagem, além de dispensarem a pintura em certos ambientes, é possuírem uma resistência mecânica maior que a dos aços carbono. Em ambientes extremamente agressivos, como regiões que apresentam grande poluição por dióxido de enxofre ou aquelas próximas da orla marítima, a pintura lhes confere um desempenho superior àquele conferido aos aços carbono.

O que distinguia o novo produto dos aços carbono, no que diz respeito à resistência à corrosão, era o fato de que, sob certas condições ambientais de exposição, ele podia desenvolver em sua superfície uma película de óxidos aderente e protetora, chamada de pátina, que atuava reduzindo a velocidade do ataque dos agentes corrosivos presentes no meio ambiente.

A formação da pátina é função de três tipos de fatores. Os primeiros a destacar estão ligados à composição química do próprio aço. Os principais elementos de liga que contribuem para aumentar-lhe a resistência frente à corrosão atmosférica, favorecendo a formação da pátina, são o cobre e o fósforo. O cromo, o níquel, e o silício também exercem efeitos secundários. Cabe observar, no entanto, que o fósforo deve ser mantido em baixos teores (menores que 0,1%), sob pena de prejudicar certas propriedades mecânicas do aço e sua soldabilidade.

Em segundo lugar vêm os fatores ambientais, entre os quais sobressaem a presença de dióxido de enxofre e de cloreto de sódio na atmosfera, a temperatura, a força (direção, velocidade e frequência) dos ventos, os ciclos de umedecimento e secagem, dentre outros. Assim, enquanto a presença de dióxido de enxofre, até certos limites, favorece o desenvolvimento da pátina, o cloreto de sódio em suspensão nas atmosferas marítimas prejudica suas propriedades protetoras. Não se recomenda a utilização de aços patináveis não protegidos em ambientes industriais onde a concentração de dióxido de enxofre atmosférico seja superior a  $168\text{mgSO}_2/\text{m}^2.\text{dia}$  (Estados Unidos e Reino Unido) e em atmosferas marinhas onde a taxa de deposição de cloretos exceda  $50\text{mg}/\text{m}^2.\text{dia}$  (Estados Unidos) ou  $10\text{ mg}/\text{m}^2.\text{dia}$  (Reino Unido).

Finalmente, há fatores ligados à geometria da peça, que explicam por que diferentes estruturas do mesmo aço dispostas lado a lado podem ser atacadas de maneira distinta. Esse fenômeno é atribuído à influência de seções abertas/fechadas, drenagem correta das águas de chuva e outros fatores que atuam diretamente sobre os ciclos de umedecimento e secagem. Assim, por exemplo, sob condições de contínuo molhamento, determinadas por secagem insatisfatória, a formação da pátina fica gravemente prejudicada. Em muitas destas situações, a velocidade de corrosão do aço patinável é semelhante àquela encontrada para os aços carbono. Exemplos incluem aços patináveis imersos em água, enterrados no solo ou recobertos por vegetação.

A Tabela relaciona a composição química e propriedades mecânicas de um aço de carbono de média resistência mecânica (ASTM A36), um aço de alta resistência mecânica e baixa liga (ASTM A572 Grau 50) e dois aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica (ASTM A588 Grau B e ASTM A242).

**Tabela 2 – Composição Química e Propriedades Mecânicas**

<b>Elemento Químico</b>	<b>ASTM A36 (Perfis)</b>	<b>ASTM A572 (Grau 50)</b>	<b>ASTM A588 (Grau B)</b>	<b>ASTM A242 (Chapas)</b>
%C máx.	0,26	0,23	0,20	0,15
%Mn	... (1)	1,35 máx.	0,75-1,35	1,00 máx.
%P máx.	0,04	0,04	0,04	0,15
%S máx.	0,05	0,05	0,05	0,05
%Si	0,40	0,40 máx. <sup>3</sup>	0,15-0,50	...
%Ni	...	...	0,50 máx.	...
%Cr	...	...	0,40-0,70	...
%Mo	...	...	...	...
%Cu	0,20 <sup>4</sup>	...	0,20-0,40	0,20 mín.
%V	...	...	0,01-0,10	...
(%Nb + %V)	...	0,02-0,15	...	...
Limite de escoamento (MPa)	250 mín.	345 mín.	345 mín.	345 mín.
Limite de resistência (MPa)	400-550	450 mín.	485 mín.	480 mín.
Alongamento após ruptura, % (lo = 200mm)	20 mín.	18 mín.	18 mín.	18mín.

(1): Para perfis de peso superior a 634 kg/m, o teor de manganês deve estar situado entre 0,85 e 1,35% e o teor de silício entre 0,15 e 0,40%.

(2): Mínimo quando o cobre for especificado.

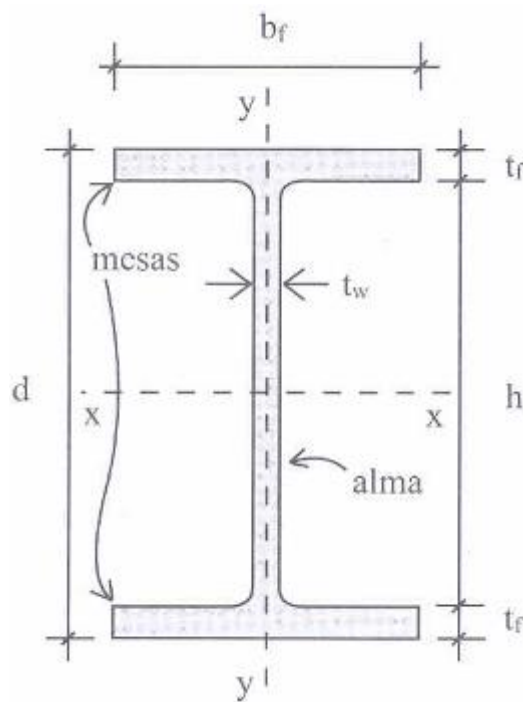
(3): Para perfis de até 634 kg/m.

(4): Espessuras entre 20 mm e abaixo.

#### **2.1.1.4 Tipos de Barras de Aço**

A seguir se apresentam barras de aço classificadas quanto ao processo de fabricação e à forma da seção transversal, assim como os perfis formados por chapas finas dobradas a frio, também conhecidos como perfis conformados a frio ou perfis formados a frio, vulgarmente conhecidos no passado como chapa dobrada.

Antes de apresentar os tipos de barras de aço é oportuno mostrar uma viga de seção I com suas dimensões e designações. Seja a viga de aço de seção I na Figura 1:



**Figura 1 Viga de Seção I**

Por convenção, suas dimensões são designadas como:

d: altura da seção transversal

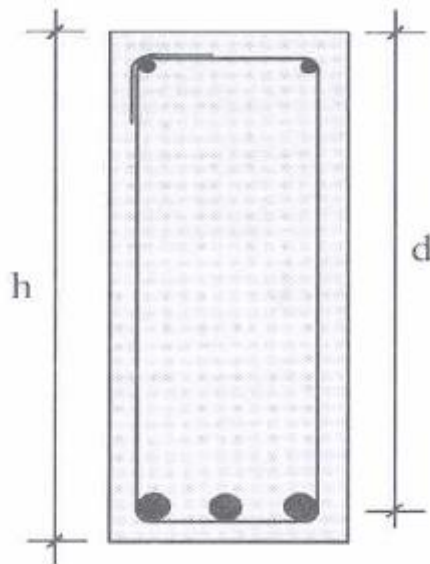
h: altura da alma

$b_x, t_x$  : largura e espessura da mesa

$t_w$ : espessura da alma''''

e o eixo x é o maior inércia.

A convenção acima difere daquela adotada para as vigas de concreto armado, nas quais h é a sua altura total e d é sua altura útil (figura 2).



**Figura 2 Viga de Concreto Armado**

### **Quanto ao Processo de Fabricação**

Os perfis de aço podem ser classificados quanto à sua fabricação em perfis laminados e perfis soldados.

Os perfis laminados sofrem o processo da laminação na sua fabricação, no qual um lingote aquecido ao rubro vai sendo submetido repetidas vezes à ação dos laminadores com cilindros conformadores até que seja atingida a forma desejada. Nesse processo a seção transversal do lingote vai se reduzindo e o seu comprimento vai aumentando paulatinamente. Os perfis soldados são formados por chapas cortadas nas dimensões previamente estabelecidas para o perfil, montadas e unidas por solda contínua.

### **Quanto à Forma da Seção Transversal**

Os produtos de aço podem ser classificados quanto a forma da seção transversal, em chapas, barras e perfis laminados U (ou C), I, H e L, estes últimos denominados de cantoneiras. Os perfis compostos são aqueles constituídos pela associação de perfis laminados simples. Há também os tubos.

Os perfis I caracterizam-se por possuir relação  $d/bf \approx 2$ , sendo adequados para serem usados como vigas, quando a flexão atua girando a seção em torno do eixo X (Figura 1). Os

perfis H caracterizam-se por possuir relação  $d/bf \approx 1$ , mais adequados para colunas, pois os valores dos momentos de inércia em relação a X e Y não diferem tanto quanto aqueles dos perfis I.

### **2.1.1.5 Especificações dos Produtos de Aço**

A seguir são mostrados diversos produtos de aço com suas especificações.

#### **Barras Redondas**

São especificadas por  $\emptyset$  seguido do diâmetro em mm. Exemplo:  $\emptyset$  25, barra com diâmetro de 25 mm.

#### **Barras Quadradas**

São especificadas por  $\square$  seguido da dimensão do lado em mm. Exemplo:  $\square$  16, barra quadrada com 16 mm de lado.

#### **Chapas**

São especificadas por CH seguido da espessura em mm. Exemplo: CH 16, chapa com espessura igual a 16 mm.

#### **Cantoneiras**

As cantoneiras podem ser de abas iguais ou de abas desiguais e são especificadas por L seguido das suas dimensões em mm. Exemplos: L 127 x 127 x 9,5, cantoneira com abas de iguais comprimentos de 127 mm e espessura de 9,5 mm. L 127 x 89 x 9,5, cantoneira com uma aba igual a 127 mm, outra aba igual a 89 mm e espessura igual a 9,5 mm.

#### **Perfis U (ou C)**

São especificados por C seguido de sua altura em mm e massa em kg/m. Exemplo: C 203 x 17,1, perfil C com altura total igual a 203 mm e massa igual a 17,1 kg/m.

### **Perfis I ou H laminados**

Os perfis I ou H laminados de padrão americano são especificados por I ou H seguido de sua altura total em mm e massa em kg/m. Exemplo: I 254 x 37,8, perfil I com altura total igual a 254 mm e massa igual a 37,8 kg/m. Os perfis de I de padrão europeu são especificados por IP seguido de sua altura total em mm. Exemplo: IP 270, perfil I com altura total igual a 270 mm. Os perfis H de padrão europeu são especificados por HPL, HPM ou HPP seguido de sua altura total em mm. Exemplo: HPL 320, HPM 320 e HPP 320, perfis H com alturas totais iguais a 320 mm, a diferença são suas massas que valem respectivamente 97,6 kg/m, 127,0 kg/m e 245,0 kg/m.

### **Perfis I ou H soldados**

Os perfis I ou H soldados são especificados por VS (viga soldada), CVS (coluna-viga soldada) ou CS (coluna soldada) seguido da sua altura total em mm e da massa kg/m. Exemplo: VS 600 x 95, perfil I com altura total igual a 600 mm e massa igual a 95 kg/m. As seções VS possuem relação  $d/bf \approx 2$ , as seções CS possuem relação  $d/bf \approx 1$  e as seções CVS possuem relação  $d/bf$  entre 1 e 2.

#### **2.1.1.6 Vantagens no uso do aço**

O sistema construtivo em aço apresenta vantagens significativas sobre o sistema convencional.

#### **Liberdade no Projeto de Arquitetura**

A tecnologia do aço confere aos arquitetos total liberdade criadora, permitindo a elaboração de projetos arrojados e de expressão arquitetônica marcante.

#### **Maior Área Útil**

As seções dos pilares e vigas de aço são substancialmente mais esbeltas do que as equivalentes em concreto, resultando em melhor aproveitamento do espaço interno e aumento

da área útil, fator muito importante principalmente em garagens.

### **Flexibilidade**

A estrutura metálica mostra-se especialmente indicada nos casos onde há necessidade de adaptações, ampliações, reformas e mudança de ocupação de edifícios. Além disso, torna mais fácil a passagem de utilidades como água, ar condicionado, eletricidade, esgoto, telefonia, informática, etc.

### **Compatibilidade Com Outros Materiais**

O sistema construtivo em aço é perfeitamente compatível com qualquer tipo de material de fechamento, tanto vertical como horizontal, admitindo desde os mais convencionais (tijolos e blocos, lajes moldadas in loco) até componentes pré-fabricados (lajes e painéis de concreto, painéis "dry-wall", etc).

### **Menor Prazo de Execução**

A fabricação da estrutura em paralelo com a execução das fundações, a possibilidade de se trabalhar em diversas frentes de serviços simultaneamente, a diminuição de formas e escoramentos e o fato da montagem da estrutura não ser afetada pela ocorrência de chuvas, pode levar a uma redução de até 40% no tempo de execução quando comparado com os processos convencionais.

### **Racionalização de Materiais e Mão-de-Obra**

Numa obra, através de processos convencionais, o desperdício de materiais pode chegar a 25% em peso. A estrutura metálica possibilita a adoção de sistemas industrializados, fazendo com que o desperdício seja sensivelmente reduzido.

### **Alívio de Carga nas Fundações**

Por serem mais leves, as estruturas metálicas podem reduzir em até 30% o custo das fundações.



## **Garantia de Qualidade**

A fabricação de uma estrutura metálica ocorre dentro de uma indústria e conta com mão-de-obra altamente qualificada, o que dá ao cliente a garantia de uma obra com qualidade superior devido ao rígido controle existente durante todo o processo industrial.

## **Antecipação do Ganho**

Em função da maior velocidade de execução da obra haverá um ganho adicional pela ocupação antecipada do imóvel e pela rapidez no retorno do capital investido.

## **Organização do Canteiro de Obras**

Como a estrutura metálica é totalmente pré-fabricada, há uma melhor organização do canteiro devido entre outros à ausência de grandes depósitos de areia, brita, cimento, madeiras e ferragens, reduzindo também o inevitável desperdício desses materiais. O ambiente limpo com menor geração de entulho oferece ainda melhores condições de segurança ao trabalhador contribuindo para a redução dos acidentes na obra.

## **Precisão Construtiva**

Enquanto nas estruturas de concreto a precisão é medida em centímetros, numa estrutura metálica a unidade empregada é o milímetro. Isso garante uma estrutura perfeitamente apumada e nivelada, facilitando atividades como o assentamento de esquadrias, instalação de elevadores, bem como redução no custo dos materiais de revestimento.

## **Reciclabilidade**

O aço é 100% reciclável e as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas.

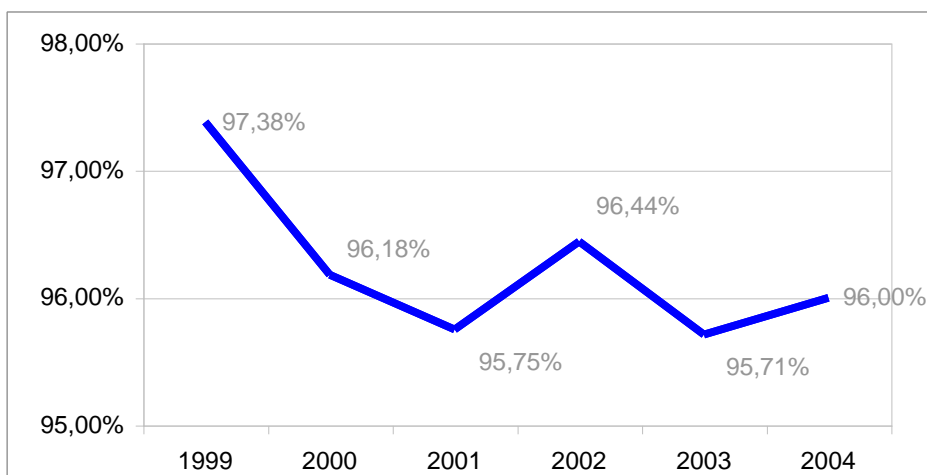
## **Preservação do Meio Ambiente**

A estrutura metálica é menos agressiva ao meio ambiente, pois além de reduzir o consumo de madeira na obra, diminui a emissão de material particulado e poluição sonora geradas pelas serras e outros equipamentos destinados a trabalhar a madeira.

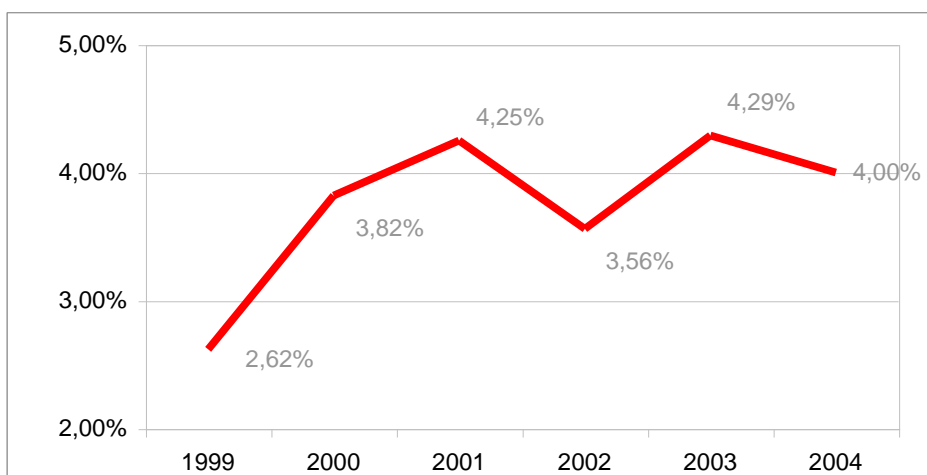
### 2.1.1.7 Aço nas Estatísticas

O IBS - Instituto Brasileiro de Siderurgia procede anualmente a apuração do consumo aparente de produtos siderúrgicos (vendas internas das empresas + importações) e de sua distribuição segundo os setores consumidores.

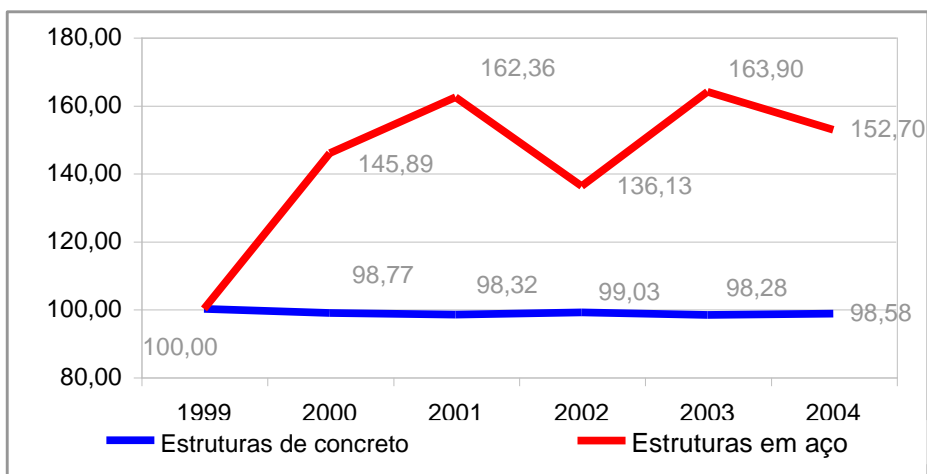
O emprego do Aço em estruturas está apresentado nas estatísticas abaixo e foram obtidas a partir do consumo aparente de produtos siderúrgicos para o setor da Construção Civil



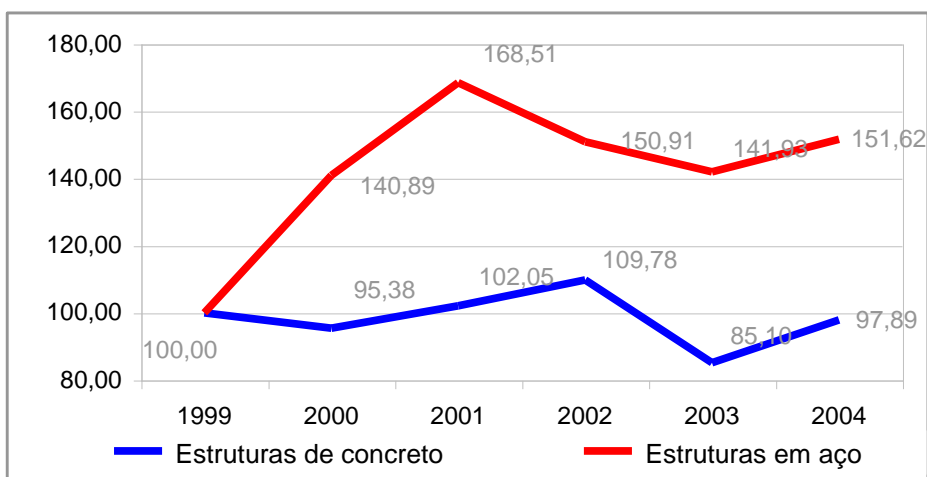
**Figura 3 Participação de Estruturas de Concreto**



**Figura 4 Participação de Estruturas de Aço**



**Figura 5 Evolução da Participação no Mercado**



**Figura 6 Evolução das Vendas de Aço Para Estrutura**

### 2.1.1.8 Aplicabilidade de Aços Estruturais

- Construção Civil (Construções Residenciais e Comerciais);
- Componentes Automobilísticos;
- Pontes;
- Galpões;
- Tanques de Armazenamento;
- Torres de Transmissão;
- Contêineres;
- Etc.

## **3 Levantamento e Análise das Funções do Sistema de Compressão Atual**

### **3.1 Equipamento Atual**

O equipamento motivo deste projeto constitui-se de um grupo pulsador de baixa frequência e de uma mesa de manobra e medição, além de um distribuidor de pressão e os cilindros de prova e está localizado no Laboratório de Estruturas (LEST) do Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da UFES. O equipamento tem por finalidade a realização de testes de compressão estáticos e dinâmicos em elementos estruturais, possibilitando uma análise das reações nas estruturas através de solicitações por compressão ou também flexão. Tanto o grupo pulsador quanto a mesa de manobra e medição se encontram fixadas sobre carro de transporte, permitindo assim que o equipamento seja móvel e que possam ser feitas aplicações em campo.

Por se tratar de um equipamento antigo e de origem alemã, não existem documentações técnicas detalhadas e somente um manual simplificado e algumas plantas dos sistemas hidráulicos e elétricos.

A operação do equipamento é complicada e totalmente manual o que torna o resultado do ensaio não confiável e totalmente dependente da habilidade do operador, A atual configuração também compromete a operação uma vez que os painéis de controle e as válvulas de controle de fluxo se encontram em carros de transporte distintos. O circuito elétrico também possui falhas como, por exemplo, o contato dos limites de pressão no ensaio dinâmico é realizado por fotodiodos e até mesmo uma lâmpada queimada pode comprometer o seu funcionamento.

Alguns defeitos de natureza da manutenção e da operação também foram encontrados no equipamento, como por exemplo, um solenóide comprometido, uma válvula de segurança com vazamento e desregulada, os botões de regulação das pressões máxima e mínima quebrados, as escalas de leitura estão desgastadas e não há condições de efetuar as leituras.

### 3.1.1 Grupo Pulsador

O grupo pulsador é composto de um reservatório de óleo com uma capacidade volumétrica de 250 litros, o acompanhamento do nível do óleo é feito externamente através de vigias de nível de óleo, o grupo pulsador possui também um reservatório adicional que serve para a recepção do óleo de serviço. Sobre a tampa do grupo pulsador encontram-se o restante dos componentes: O motor elétrico acionamento (M1), o qual está ligado a uma bomba de pistões radiais (P1). A bomba de pistões radiais vem equipada de uma roda de mão, para ajustamento de diferentes vazões. Superiormente encontra-se uma escala munida de um ponteiro para a leitura do ajustamento da bomba de pistões radiais.



**Figura 7 Grupo Pulsador**

Lateralmente à bomba de pistões radiais encontra-se a válvula de segurança de descarga acidental, a qual se encontra desregulada e originalmente estava regulada a uma pressão de 160 Kp/cm<sup>2</sup> para proteger a instalação contra qualquer possibilidade de uma elevação de pressão na tubagem de pressão ou nos cilindros de prova. Caso o óleo exceda a pressão de serviço máxima admissível, o mesmo escoará pela válvula de descarga acidental para o tanque.

Para o ajustamento e comando do mecanismo de pulsador, encontra-se uma válvula de passo (VW1), cujo manejo se faz por meio de um manípulo de que vem equipado. Este dispositivo permite interromper rapidamente um ensaio em curso, obstruindo imediatamente a corrente de alimentação para os cilindros de prova. Quando o manípulo se encontra apontado

para frente, então a válvula esta ajustada à posição de passagem. Caso o manípulo for apontado para trás, significa então que a mesma válvula de varias vias será fechada e o circuito interrompido.

Após a primeira válvula de passo (VW1) encontra-se a válvula de passo (VW2), de comando hidráulico, que tem por finalidade o controle do óleo de pressão necessário ao cilindro de prova. Em seguida há a válvula de estrangulamento (VDr2), que estabelece a ligação entre a tubagem de óleo de pressão para o cilindro de prova e o sistema de evacuação, e a válvula de estrangulamento (VDr1), que estabelece a ligação da tubagem do óleo de pressão com o cilindro quando comutar-se a válvula de passo (VW2), ambas servem para o ajustamento do traçado da curva, em caso de queda de pressão no cilindro de prova. Ambas as condutas das válvulas de estrangulamento penetram no reservatório de óleo (B1) através do filtro (F2).

Com o objetivo de conectar a válvula de passo (VW2) há um elemento de regulação de núcleo magnético (MKS) que é acionado por sinais elétricos de comando provenientes dos contatos do mecanismo situado na mesa de manobra e medição, afim, de modo correspondente, poder conectar a válvula de passo (VW2).

No sistema se encontra ainda, um manômetro (Me2), que possibilita a leitura da pressão do óleo de comando que é de aproximadamente 10 kp/cm<sup>2</sup>, uma válvula de limitação de pressão, instalada na bomba de pistões radiais (P1). Sendo assim, a válvula de estrangulamento intercalada no manômetro, não deverá ser completamente fechada. Antes de o óleo de pressão do comando atingir o elemento de regulação do núcleo magnético, deverá ele passar pelo filtro de peneira (F3), onde será limpo. Logo, o filtro da peneira deverá sempre ser aberto e cuidadosamente limpo.

Por fim, o distribuidor de pressão tem por finalidade estabelecer a ligação com os cilindros de prova. As ligações da tubagem fazem-se por meio do sistema de aparafusamento Marov.

O motor de acionamento (M1) e o sistema de núcleo magnético (MKS) vem equipado com cabos de ligação. Tomadas apropriadas para a conexão dos cabos encontram-se na parede esquerda da correspondente mesa de manobra e medição.

### 3.1.2 Mesa de Manobra e Medição

É na mesa de manobra e medição que realiza o controle e as leituras do teste. A mesa contém o dinamômetro, o mecanismo de contatos, o relógio de medição de força e a chave seletora para ambas as margens de medição de força: de 0 a 100 kp/cm<sup>2</sup> e de 0 a 200 kp/cm<sup>2</sup>, e do lado direito, numa câmara especial, encontra-se o painel de distribuição elétrica e dos fusíveis.



**Figura 8 Mesa de Manobra e Medição**

Um mecanismo contador (h1) situa-se na parte central do painel, através do qual é feita a regulagem do numero de ciclos de carga realizados no teste dinâmico.

O mecanismo de contatos aloja-se sobre o painel de manejo. Este mecanismo de contatos serve para ajustar as cargas desejadas durante os ensaios dinâmicos, os ajustes são através de botões giratórios. O botão giratório destina-se à regulação de carga mínima, enquanto que o botão giratório, á regulação da carga máxima. Ambos os botões giratórios conectam-se a ponteiros, que indicam os valores marcados em percentagens sobre uma escala do mecanismo de orientação. Valores exatos são lidos no relógio de medição de força.

No painel de manejo encontram-se os pulsadores de conexão e desconexão do motor de acionamento (M1). Lateralmente encontram-se o pulsador para a conexão e desconexão do mecanismo contador elétrico h1.

No painel de distribuição elétrica e dos fusíveis alojam-se ainda os fusíveis (e1, e2,..., e5), que protegem os motores contra sobrecargas da rede elétrica. Além do bloco elétrico de alimentação destinado ao interruptor de foto, da régua de bornes e da barra de condutor neutro, encontra-se ainda montada uma série de elementos elétricos de construção. O relé térmico de sobreintensidade (e6) para proteção do motor de acionamento (M1) é montado diretamente no relé de contato (c1). O interruptor principal da instalação encontra-se montado no lado direito da mesa de manobra e medição. Do lado oposto encontram-se duas tomadas de corrente. Com a tomada de corrente (35) ligam-se o sistema de núcleo magnético. A tomada de corrente (37) foi prevista para conexão do eletromotor (M1). Foram previstas no painel de distribuição elétrica e dos fusíveis, bornes adicionais. A estes poderão ligar-se chaves-limites, que, em caso de necessidade, poderão ser adicionalmente instalados nos cilindros de prova ou nas provas respectivas. As mesmas chaves-limites devem ser conectadas de tal forma, que, quando acionadas, desligam ainda o motor de acionamento (M1).

Para a ligação à rede precisam-se os bornes de conexão, a conexão e desconexão geral de toda a instalação fazem-se por meio do interruptor principal.

## **3.2 Diagramas Hidráulico e Elétrico**



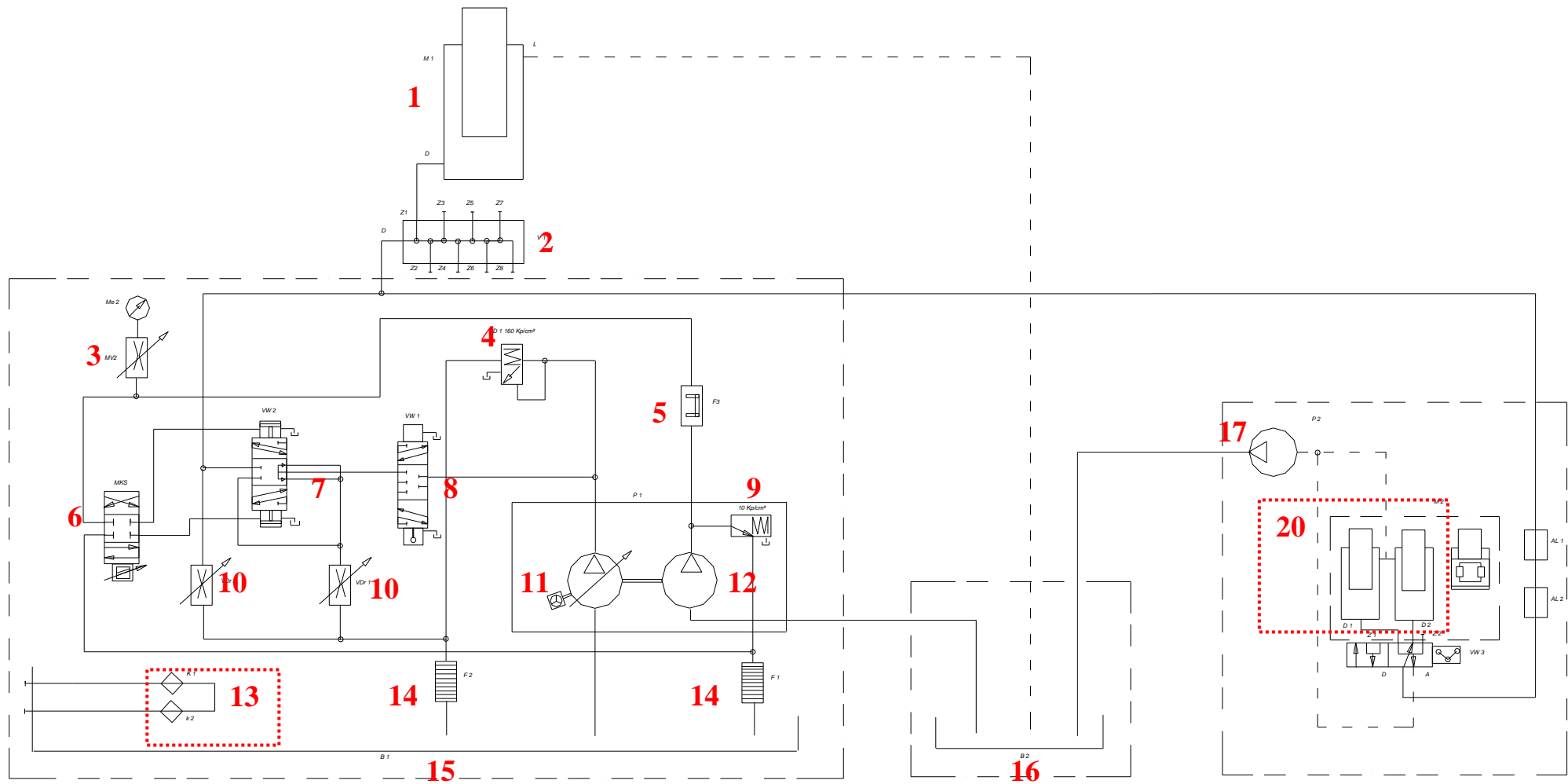


Figura 9 – Diagrama Hidráulico da Atual Configuração

## **Identificação dos Aparelhos**

1. Cilindro de Prova;
2. Distribuidor de Pressão;
3. Manômetro;
4. Válvula de Descarga Acidental;
5. Filtro de Peneira;
6. Válvula Direcional Acionada por Solenóide;
7. Válvula Direcional de Acionamento Hidráulico;
8. Válvula Direcional de Acionamento Manual;
9. Válvula Limitadora de Pressão;
10. Válvula Controladora de Fluxo;
11. Bomba de Pistões Radiais;
12. Bomba de Rodas Dentadas;
13. Vigias de Óleo;
14. Filtro;
15. Reservatório de Óleo;
16. Reservatório Auxiliar;
17. Bomba;
18. Dinamômetros

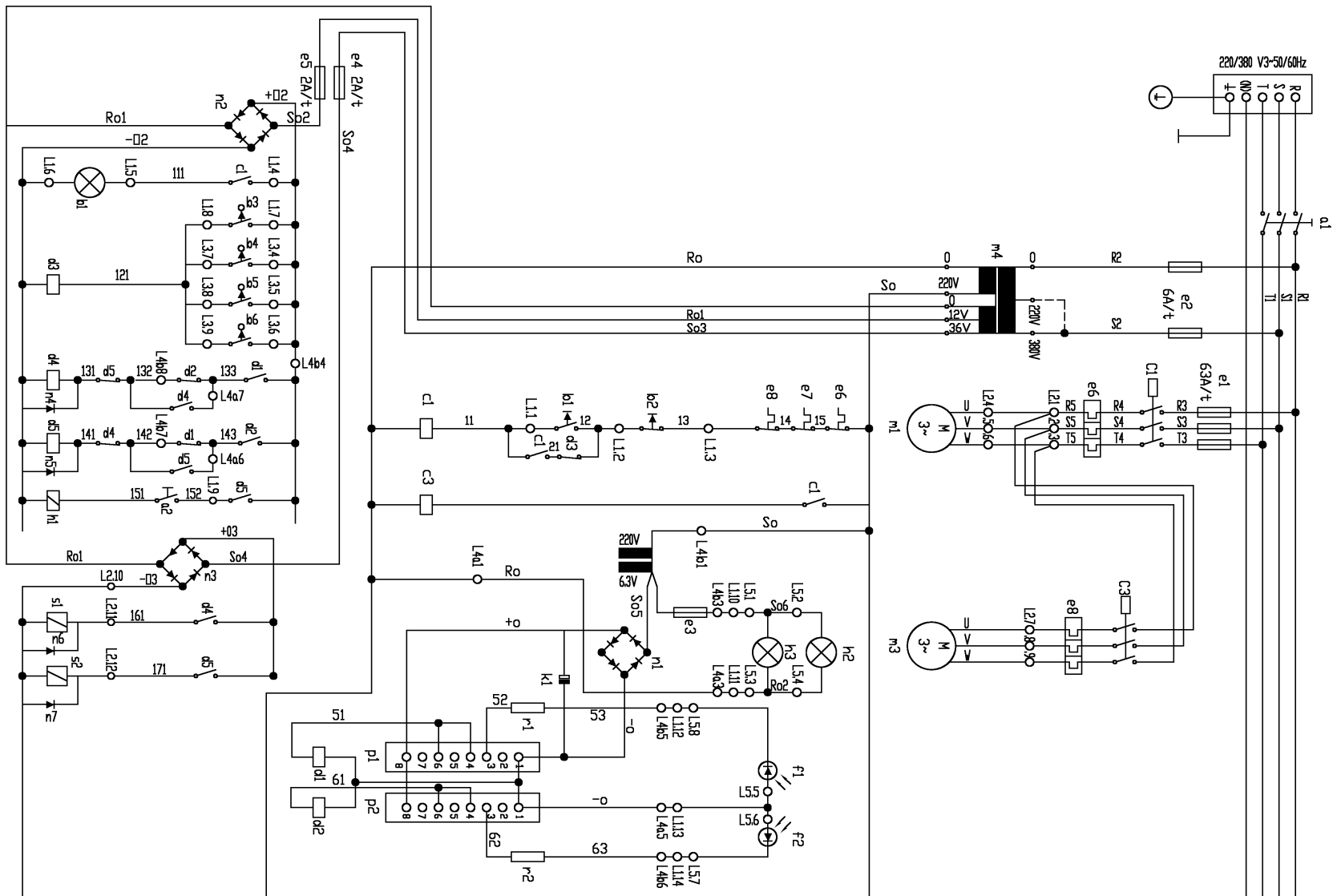


Figura 10 – Diagrama Elétrico da Atual Configuração

### 3.3 Lista de Equipamentos do Sistema de Testes de Compressão em Estruturas Metálicas

Segue na tabela 3 um quantitativo dos principais equipamentos que constituem o equipamento, citando suas especificações. Em seguida foram abordadas as características desses equipamentos que compõem o atual sistema hidráulico de compressão, relatando seus princípios de funcionamento.

#### 3.3.1 Lista de Equipamentos do Sistema Hidráulico

Tabela 3 – Lista de Equipamentos do Sistema Hidráulico

ITENS	DESCRIÇÃO	QTE	ESPECIFICAÇÃO
01	Bomba de Pistões Radiais	01	VEB – 40 L/min
02	Bomba de Rodas Dentadas	01	VEB – 10 L/min
03	Cilindros de Prova	01*	VEB – 200 Kgf/cm <sup>2</sup> *
04	Distribuidor de Pressão	01	VEB – 08 Saídas
05	Elemento de Regulação Magnética	01	VEB – 36V
06	Filtro de óleo	03	-
07	Manômetro	01	VEB – Até 160 Kgf/cm <sup>2</sup>
08	Motor de Acionamento Elétrico	01	13 KW – IP 44
09	Tanque Reservatório de Óleo Principal	01	250 L
10	Tanque Reservatório de Óleo Secundário	01	50 L
11	Válvula de Estrangulamento de Fluxo	03	VEB – 160 Kgf/cm <sup>2</sup>
12	Válvula Direcional de Acionamento Hidráulico	01	VEB – 320 Kgf/cm <sup>2</sup>
13	Válvula Direcional de Acionamento Manual	01	VEB – 320 Kgf/cm <sup>2</sup>
14	Válvula Limitadora de Pressão	02	VEB – Até 160 Kgf/cm <sup>2</sup>
15	Víguas do Nível de Óleo		-

\* O cilindro descrito se refere ao que foi utilizado durante a elaboração do projeto, mas o equipamento dispõe de mais 07 cilindros com capacidades diferentes.

#### 3.3.2 Princípios de Funcionamento Principais dos Equipamentos do Sistema de Testes de Compressão em Estruturas Metálicas

**Bomba de Pistões Radiais:** Bomba que funciona com base no princípio do movimento alternativo executado pelos pistões, ou seja, sucção do fluido num sentido e expulsão no sentido contrário.

**Bomba de Rodas Dentadas:** É uma bomba rotativa na qual as engrenagens giram para causar a ação de bombeamento do fluido para o sistema.

**Cilindros de Prova:** Dispositivo que converte energia fluida em movimento mecânico. No caso particular do sistema, é o elemento que exerce a força de compressão sobre o corpo de prova. O retorno do cilindro à posição inicial é executado por molas externas ao corpo do mesmo.

**Distribuidor de Pressão:** Elemento que recebe o óleo do sistema e realiza a distribuição para os cilindros de provas, alimentando os mesmos com mesma pressão.

**Elemento de Regulação de Núcleo Magnético:** Componente responsável pela conexão da válvula direcional VW2, através de sinais elétricos provenientes dos contatos do mecanismo situado na mesa de manobra e medição.

**Filtro de Óleo:** Dispositivo que tem por principal função reter todo e qualquer tipo de contaminante insolúvel no fluido de trabalho.

**Manômetro:** Instrumento utilizado para a medição de pressão no sistema.

**Motor de Acionamento Elétrico:** O motor elétrico é um atuador rotativo, o qual tem por função básica converter a energia elétrica em energia mecânica rotativa, podendo este movimento rotativo ser convertido em movimento alternativo.

**Tanque Reservatório de Óleo:** As funções do reservatório são basicamente: o armazenamento do fluido de trabalho e arrefecimento por condução e convecção.

**Válvula de Estrangulamento de Fluxo:** Usadas para controlar a vazão e então aplicar uma diferença de pressão no trecho estrangulado.

**Válvula de Passo ou Direcional de Acionamento Hidráulico:** Têm por função direcionar o fluido de trabalho dentro do sistema hidráulico, possibilitando a extensão ou retração dos cilindros hidráulicos, desviando e direcionando o fluxo para onde ele seja necessário. Seu acionamento é feito hidráulicamente através de um elemento de regulação magnética.

**Válvula de Passo ou Direcional de Acionamento Manual:** Estas válvulas têm por função direcionar o fluido de trabalho dentro do sistema hidráulico, possibilitando a extensão ou retração dos cilindros hidráulicos, desviando e direcionando o fluxo para onde ele seja necessário. Seu acionamento é feito manualmente, permitindo a interrupção da alimentação para o circuito instantaneamente

**Válvula de Segurança de Descarga Acidental ou Limitadora de Pressão:** Permite que o fluido de trabalho seja desviado em sua totalidade para o tanque, sempre que a pressão exceder o valor máximo pré-estabelecido à execução do processo.

**Vigias de Nível de Óleo:** Estão localizadas no reservatório de óleo em numero de duas de tal forma que indiquem os níveis máximo e mínimo do fluido. São recomendados medidores de nível com visor pìrex, que resistem melhor a variações de temperatura e a pequenos impactos.

### **3.4 Descrição dos Processos e dos Procedimentos dos Testes de Compressão Estático e Dinâmico na Atual Configuração**

#### **3.4.1 Descrição do Processo Para o Teste Estático**

Para a realização do teste estático o equipamento deve estar com as válvulas de estrangulamento de fluxo fechadas, o que conduzirá o óleo para o(s) cilindro(s) de prova. A válvula de estrangulamento que se encontra intercalada com o manômetro não deve ser totalmente fechada.

Após a partida do motor, o óleo é impulsionado do tanque reservatório principal para o sistema hidráulico por uma bomba de pistões radiais. Lateralmente a bomba de pistões radiais há uma válvula reguladora de pressão que, caso a pressão do óleo do sistema exceda a pressão limite regulada (160 kp/cm<sup>2</sup>), haverá o retorno do óleo ao tanque garantindo a segurança do sistema. O óleo acionado segue pela primeira válvula direcional (VW1), ou de passo, com manejo manual. O manejo é utilizado para acionar a válvula, permitindo ou interrompendo a passagem do óleo para o sistema.

Simultaneamente, uma bomba de rodas dentadas instalada na bomba de pistões radiais fornece óleo de pressão necessário ao comando hidráulico da segunda válvula direcional (VW2) ou de passo. O controle do óleo do comando hidráulico da segunda válvula de passo é efetuado por um elemento de regulação magnética (MKS), que recebe os sinais elétricos provenientes dos contatos do mecanismo situado na mesa de manobra e medição e assim realiza a conexão da segunda válvula direcional. A pressão do óleo de comando é de aproximadamente  $10 \text{ kp/cm}^2$ , é constante devido a uma válvula reguladora de pressão instalada na bomba de rodas dentadas e a leitura é possível devido a um manômetro (Me2). Para a realização do teste estático, o elemento de regulação magnética (MKS) realiza somente a conexão da válvula direcional (VW2) na primeira direção de passagem de fluxo.

Seguindo após a primeira válvula direcional, o óleo chega à segunda (VW2) válvula direcional ou de passo, de acionamento hidráulico, que conduz o óleo hidráulico até o(s) cilindro(s) de prova. A pressão então aciona o cilindro, aplicando assim a força de compressão no corpo de prova. A pressão no cilindro varia conforme a vazão regulada na válvula de estrangulamento de fluxo (VDr2).

O relógio de medição situado no painel de controle e medição acusa a pressão real no circuito.

Finalizando o teste, após a abertura total da válvula de estrangulamento de fluxo, o óleo retorna ao tanque.

### **3.4.2 Descrição do Processo Para o Teste Dinâmico**

Como no teste estático, para a realização do teste dinâmico, o equipamento deve estar com as válvulas de estrangulamento fechadas, o que conduzirá o óleo para o(s) cilindro(s) de prova. A válvula de estrangulamento que se encontra intercalada com o manômetro não deve ser totalmente fechada.

Após a partida do motor, o óleo é impulsionado do tanque para o sistema hidráulico por uma bomba de pistões radiais. Lateralmente a bomba de pistões radiais há uma válvula reguladora de pressão que, caso a pressão do óleo do sistema exceda a pressão limite regulado ( $160 \text{ kp/cm}^2$ ), haverá o retorno do óleo ao tanque garantindo a segurança do sistema. O óleo

acionado segue pela primeira válvula direcional (VW1), ou de passo, com manejo manual. O manejo é utilizado para acionar a válvula, permitindo ou interrompendo a passagem do óleo para o sistema.

Simultaneamente, uma bomba de rodas dentadas instalada na bomba de pistões radiais fornece óleo de pressão necessário ao comando hidráulico da segunda válvula direcional (VW2) ou de passo. O controle do óleo do comando hidráulico da segunda válvula de passo é efetuado por um elemento de regulação magnética (MKS), que recebe os sinais elétricos provenientes dos contatos do mecanismo situado na mesa de manobra e medição e assim realizar a conexão da segunda válvula direcional. A pressão do óleo de comando é de aproximadamente  $10 \text{ kp/cm}^2$ , é constante devido a uma válvula reguladora de pressão instalada na bomba de rodas dentadas e a leitura é possível devido a um manômetro (Me2). Para a realização do teste dinâmico, o elemento de regulação magnética (MKS) realiza a conexão da válvula direcional (VW2) em duas direções alternadamente conforme o número de ciclos ajustados no mecanismo contador.

Seguindo após a primeira válvula direcional, o óleo chega à segunda válvula direcional (VW2) ou de passo, de acionamento hidráulico, que conduz o óleo hidráulico até o(s) cilindro(s) de prova. Em uma primeira posição de VW2, o óleo aciona o cilindro a uma determinada pressão, que será a pressão máxima estabelecida para o ensaio, aplicando assim uma força de compressão no corpo de prova. A pressão no cilindro varia conforme a vazão regulada na válvula de estrangulamento de fluxo (VDr2). Ao ser realizada a troca da posição de VW2, o óleo aciona o cilindro a uma pressão mínima estabelecida para o ensaio, aplicando assim uma força de compressão no corpo de prova. Essa pressão no cilindro varia conforme a vazão alcançada através da regulação das duas válvulas de estrangulamento de fluxo (VDr2 + VDr1), como VDr2 já está regulada para a pressão máxima no cilindro quando VW2 está na primeira posição, a regulação para a pressão mínima alcançada na segunda posição de VW2 deve ser feita somente através da regulação de VDr1.

O relógio de medição situado no painel de controle e medição acusa as pressões reais no circuito.

Os comandos elétricos do elemento de regulação magnética são provenientes de um par de fotodiodos que emitem seus sinais de forma alternada.



Finalizando o teste, após a abertura total da válvula de estrangulamento de fluxo, o óleo retorna ao tanque.

### **3.4.3 Procedimentos Para a Realização dos Testes**

#### **3.4.3.1 Teste Estático**

Ao iniciar qualquer um dos testes o operador deve realizar a limpeza dos filtros do sistema para uma perfeita filtragem de qualquer impureza e visualizar se o nível do óleo no tanque é suficiente para a realização do teste através das vigias do nível de óleo.

➤ 1º Passo: Regular a pressão máxima através do mecanismo de contato, que está localizado na mesa de manobra e medição, onde o botão da direita regula para carga máxima;

➤ 2º Passo: Ajustar o numero de ciclos de carga no mecanismo contador situado na mesa de manobra e medição para 0 (zero);

➤ 3º Passo: Fechar as válvulas de estrangulamento utilizando as rodas de mão que se encontram sobre as mesmas, a válvula que se encontra intercalada no manômetro nunca deve ser totalmente fechada;

➤ 4º Passo: Regular a vazão desejada também utilizando a roda de mão que se encontra na bomba de pistões radiais;

➤ 5º Passo: Acionar a chave principal do equipamento que se encontra na lateral direita da mesa de manobra e medição;

➤ 6º Passo: Ligar o motor, através da chave existente na mesa de manobra, que impulsionará o óleo para o sistema hidráulico;

➤ 7º Passo: Acionar o manejo manual da primeira válvula direcional para trás, permitindo assim a passagem do óleo para os cilindros;

➤ 8º Passo: Regular a pressão desejada para o ensaio através da válvula de estrangulamento (VDr2) e da leitura no relógio de medição de forças situado na mesa de manobra e medição;

➤ 9º Passo: Aliviar a pressão no cilindro, através de abertura das válvulas de estrangulamento, permitindo o retorno do óleo ao tanque e o recuo do cilindro à posição inicial;

### **3.4.3.2 Teste Dinâmico**

Ao iniciar qualquer um dos testes o operador deve realizar a limpeza dos filtros do sistema para uma perfeita filtragem de qualquer impureza e visualizar se o nível do óleo no tanque é suficiente para a realização do teste através das vigias do nível de óleo.

➤ 1º Passo: Regular as pressões máxima e mínima através do mecanismo de contato, que está localizado na mesa de manobra e medição, onde o botão da direita regula para a carga máxima e o botão da esquerda regula para a carga mínima;

➤ 2º Passo: Ajustar o numero de ciclos de carga no mecanismo contador situado na mesa de manobra e medição;

➤ 3º Passo: Fechar as válvulas de estrangulamento utilizando as rodas de mão que se encontram sobre as mesmas, a válvula que se encontra intercalada no manômetro nunca deve ser totalmente fechada;

➤ 4º Passo: Regular a vazão desejada também utilizando a roda de mão que se encontra na bomba de pistões radiais;

➤ 5º Passo: Acionar a chave principal do equipamento que se encontra na lateral direita da mesa de manobra e medição;

➤ 6º Passo: Ligar o motor, através da chave existente na mesa de manobra, que impulsionará o óleo para o sistema hidráulico;

- 7º Passo: Ligar o interruptor do mecanismo contador, localizado na mesa de manobra e medição;
- 8º Passo: Acionar o manejo manual da primeira válvula direcional para trás, permitindo assim a passagem do óleo para os cilindros;
- 9º Passo: Regular através da válvula de estrangulamento (VDr2) a vazão que permitirá a pressão máxima desejada acompanhando através de leitura no relógio de medição de forças na mesa de manobra e medição;
- 10º Passo: Após a mudança de posição de passagem de óleo da segunda válvula direcional (VW2), regular através da válvula de estrangulamento (VDr1), a vazão que permitirá a pressão mínima desejada, acompanhando através da leitura no relógio de medição de forças na mesa de manobra e medição.
- 11º Passo: Aliviar a pressão no cilindro, através de abertura das válvulas de estrangulamento, permitindo o retorno do óleo ao tanque e o recuo do cilindro à posição inicial;

## **4 Estudo do Sistema de Teste de Compressão Automatizado em Estruturas Metálicas**

Nesta seção, são abordadas as propostas de automatização do sistema de teste de compressão em estruturas metálicas, bem como seus componentes, suas funções, características e suas inter-relações.

### **4.1 Proposta de Sistemas de Compressão**

Para a automação do sistema de teste de compressão foi estudada a seguinte proposta de configuração: PC com placa de captura NI;

## 4.2 Arquitetura do Projeto

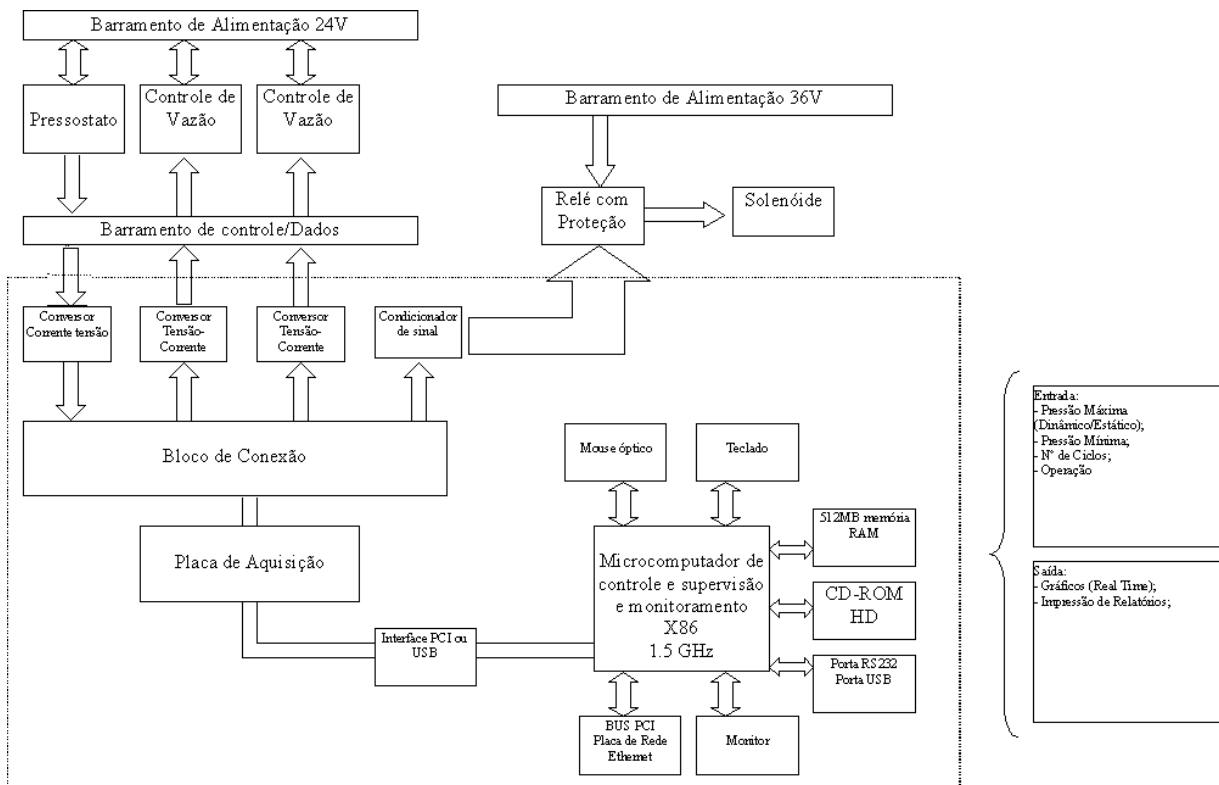


Figura 11 – Layout do Sistema

A arquitetura do projeto pode ser dividida em três partes, a primeira se refere à operação do sistema onde se encontram os controladores de vazão, o pressostato e o solenóide, além dos barramentos e fontes de alimentação. A segunda parte diz respeito ao PC e a placa de aquisição de dados NI, essa é a parte que será onde ocorre o controle, supervisão e monitoramento do funcionamento do sistema pelo operador. A terceira e última parte é onde ocorre a inserção e leitura dos dados do ensaio.

## 4.3 Lista de Equipamentos do Sistema de Teste de Compressão Automatizado

Tabela 4 – Lista de Equipamentos do Sistema Automatizado

ITENS	DESCRIÇÃO	QTE	ESPECIFICAÇÃO
01	Conversor Corrente-Tensão	01	4 a 20mA para 5 a 10V
02	Conversor Tensão-Corrente	02	5 a 10V para 4 a 20mA
03	Fonte de Alimentação	01	24V
04	PC Completo	01	X86 1.5 GHz
05	Placa NI	01	NI6229

06	Pressostato	01	4 a 20 mA
07	Válvula de Estrangulamento de Comando Elétrico	02	4 a 20 mA / 160Kgf/cm <sup>2</sup>

Como o sistema automatizado será realizado a partir do sistema atual, os componentes hidráulicos serão aqueles especificados anteriormente (vide Seção 3.1.1 - Equipamento Atual).

#### **4.3.1 Funções e Características Principais dos Componentes do Sistema Automatizado de Testes de Compressão em Estruturas Metálicas**

**Conversor Corrente-Tensão:** Elemento que recebe sinais de corrente vindos do Pressostato e envia sinais de voltagem para a Placa NI.

**Conversor Tensão-Corrente:** Elemento que recebe sinais de voltagem da Placa NI e envia sinais de corrente para as Válvulas de Controle de Vazão.

**Fonte de Alimentação:** Elemento que recebe corrente alternada e transforma em corrente contínua e alimenta os medidores de pressão, os quais enviam os sinais elétricos para o PC.

**PC Completo:** Componente que realiza a análise das informações da placa NI, possibilita a entrada e leitura de dados através de periféricos.

**Placa NI:** Dispositivo que recebe os sinais elétricos provenientes do sistema automatizado e possibilita a execução automática através de um software.

**Pressostato:** Elemento que envia os sinais de elétricos para a Placa NI e possibilita a leitura de pressão na linha a qual está inserido.

**Válvula de Estrangulamento de Comando Elétrico:** Usadas para controlar a vazão e então aplicar uma diferença de pressão no trecho estrangulado através de comando elétrico.

## 4.4 Descrição de Execução do Sistema Automatizado de Testes de Compressão Estático e Dinâmico

### 4.4.1 Procedimentos Para a Realização dos Testes

#### 4.4.1.1 Teste Estático

Ao iniciar qualquer um dos testes o operador deve realizar a limpeza dos filtros do sistema para uma perfeita filtragem de qualquer impureza e visualizar se o nível do óleo no tanque é suficiente para a realização do teste através das vigias do nível de óleo. Sendo o teste estático o operador deve selecionar essa opção na tela do PC.

- 1º Passo: Acionar a chave principal do equipamento que se encontra na lateral direita da mesa de manobra e medição;
- 2º Passo: Iniciar o PC e o software de execução;
- 3º Passo: Regular a vazão desejada utilizando a roda de mão que se encontra na bomba de pistões radiais;
- 4º Passo: Fixar a pressão máxima, na tela principal, desejada para o ensaio;
- 5º Passo: Ligar o motor de acionamento (M1), na tela principal;
- 6º Passo: Acionar o manejo manual da primeira válvula direcional para trás, permitindo assim a passagem do óleo para os cilindros;
- 7º Passo: Aliviar a pressão no cilindro, através de abertura das válvulas de estrangulamento, permitindo o retorno do óleo ao tanque e o recuo do cilindro à posição inicial;

#### 4.4.1.2 Teste Dinâmico

Ao iniciar qualquer um dos testes o operador deve realizar a limpeza dos filtros do sistema para uma perfeita filtragem de qualquer impureza e visualizar se o nível do óleo no tanque é suficiente para a realização do teste através das vigias do nível de óleo. Sendo o teste dinâmico o operador deve selecionar essa opção na tela do PC.

- 1º Passo: Acionar a chave principal do equipamento que se encontra na lateral direita da mesa de manobra e medição;
- 2º Passo: Iniciar o PC e o software de execução;
- 3º Passo: Regular a vazão desejada utilizando a roda de mão que se encontra na bomba de pistões radiais;
- 4º Passo: Fixar as pressões máxima e mínima, na tela principal, desejadas para o ensaio;
- 5º Passo: Digitar o numero de ciclos desejados para o teste dinâmico;
- 6º Passo: Ligar o motor de acionamento (M1), na tela principal;
- 7º Passo: Acionar o manejo manual da primeira válvula direcional para trás, permitindo assim a passagem do óleo para os cilindros;
- 8º Passo: Aliviar a pressão no cilindro, através de abertura das válvulas de estrangulamento, permitindo o retorno do óleo ao tanque e o recuo do cilindro à posição inicial;

## 4.5 Aplicabilidade e Público Alvo do Sistema Automatizado de Teste de Compressão em Estruturas Metálicas

O sistema automatizado de teste de compressão em estruturas metálicas tem como público alvo os seguintes clientes:

- Pesquisas universitárias;
- Empresas do ramo de construção civil;
- Empresas que utilizam estruturas metálicas;
- Empresas que necessitam de realizar testes de protótipos com o equipamento, no Laboratório de Estruturas (LEST);

## 4.6 Tela de Apresentação

Após o desenvolvimento do software, a tela do Sistema Automatizado apresentará todos os comandos na tela do PC e dos serão executados através dos periféricos de comando. A figura 12 mostra uma representação da tela de apresentação do software.

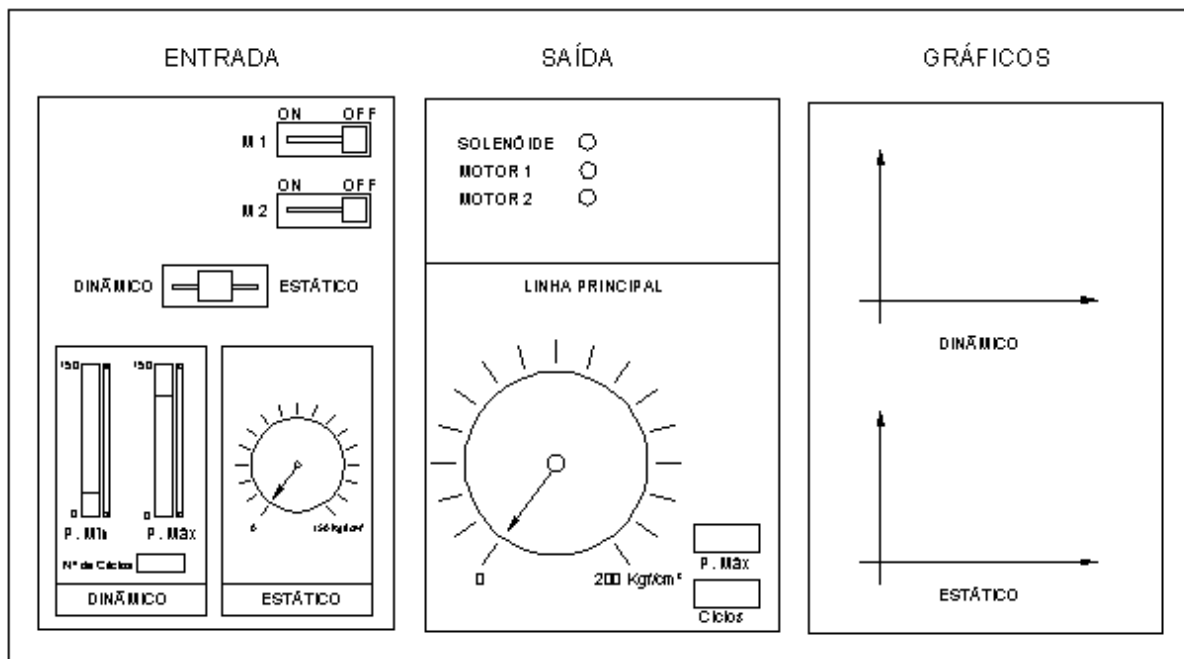


Figura 12 Representação da Tela de Apresentação



## 5 Orçamento

O orçamento abaixo se baseia nos preços de equipamentos e em preços médios de fabricação de algumas peças. A tabela abaixo contém a descrição completa dos materiais necessários e seus respectivos preços.

**Tabela 5 – Orçamento da Concepção Automatizada**

DESCRIÇÃO	QTE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
Conversor Corrente-Tensão	01	385,61	385,61
Conversor Tensão-Corrente	02	385,61	771,22
Fonte de Alimentação	01	230,00	230,00
PC Completo	01	2.300,00	2.300,00
Placa NI	01	1.862,50	1.862,50
Pressostato	01	1.254,00	1.254,00
Válvula de Estrangulamento de Comando Elétrico	02	5.520,00	11.040,00
Componentes Eletrônicos	-	1.012,50	1.012,50
Software	-	5.775,00	5.775,00
Mão de Obra	-	35.370,00	35.370,00
<b>TOTAL</b>			<b>60.000,83</b>

## 6 Considerações Finais

Neste capítulo serão abordadas algumas considerações finais a respeito do sistema automatizado de teste de compressão em estruturas metálicas aqui proposto. Será enfatizadas todas as melhorias que esta nova concepção de sistema apresenta em relação à concepção escolhida para efeitos de comparação, bem como sugestões com intuito de continuidade do projeto.

### 6.1 Melhorias da Nova Concepção em Relação à Concepção Atual

Após a elaboração do Sistema Automatizado de Compressão podemos descrever melhorias em relação à concepção atual para efeito de comparação em análise ao objetivo final de modernização do equipamento de compressão, entre as principais melhorias podemos citar:

➤ Facilidade de realização do teste: Com a nova concepção o operador tem a facilidade da utilização do PC com o software de execução, em relação ao sistema antigo o

operador não necessita regular os comandos em carros de transporte distintos, assim a leitura se torna mais cômoda;

➤ **Análise gráfica:** Com a implantação do PC, torna-se possível a análise de gráficos com os dados de resposta do ensaio, o que torna o resultado de forma mais analítica.

➤ **Confiabilidade de resultados:** Através da inserção de comandos elétricos na execução, os dados de entrada do sistema se tornam mais precisas e confiáveis;

➤ **Confiabilidade:** A configuração automatizada apresenta maior confiabilidade em relação à configuração atual devido ao tempo de utilização de alguns componentes e também à atualização de alguns componentes. Como por exemplo, podemos citar os fotodiodos que podem comprometer todo o sistema com simples falha.

➤ **Liberdade de concepção:** Com a automatização do processo, torna-se possível a inserção e programação de novos parâmetros, como por exemplo, medidas de temperatura.

## 6.2 Sugestões para Continuidade do Projeto

➤ **Estudo das outras opções de automação:** Devido a possibilidade de outras configurações se faz possível um novo estudo de outras opções, conforme a demanda de um novo sistema de compressão. Como por exemplo: Painel com PLC, PC com placa proprietária com microcontrolador PIC ou similar.

➤ **Construção do sistema automatizado:** A proposta aqui apresentada limita-se a um projeto de estudo sobre o sistema automatizado, diante disso torna-se possível a sua construção e posteriormente realização dos ensaios.

➤ **Estudo de outras aplicações para o sistema automatizado de teste de compressão:** Sendo o sistema capaz de realizar testes de compressão estáticos e dinâmicos torna-se possível a sua utilização em várias outras aplicações e conseqüentemente disponibilizá-lo para outros clientes em potencial. Como outras propostas, podemos citar, por exemplo, a análise de trilhos ferroviários sob carga cíclica.

## 6.3 Conclusão

O uso da automação alinhada a engenharia se mostra cada vez mais vantajosa e próspera na atual realidade de desenvolvimento. Através desse raciocínio o projeto se mostra vitorioso no objetivo inicial estabelecido, que é de alinhar uma tecnologia de tempos anteriores a ferramentas disponíveis nos tempos de agora.

A aplicação dessas tecnologias na concepção proposta por este projeto trouxe melhorias quanto à facilidade de operação, confiabilidade do projeto, aumento na qualidade nos resultados, análises gráficas, dentre outros.

A utilização do sistema automatizado mostra-se uma alternativa viável e interessante em estudo e análises de reações em estruturas metálicas. A utilização desse tipo de pesquisa e desenvolvimento se torna uma ferramenta poderosa e necessária na atual realidade de desenvolvimento a passos extremamente rápidos.

Com relação ao desenvolvimento profissional do Engenheiro, o projeto se tornou de boa valia na análise de um sistema, avaliação de suas condições relacionadas a seus objetivos de projeto e desenvolvimento de melhorias tornando o sistema mais eficaz, confiável e viável as necessidades estabelecidas.

## Bibliografia

### Livros e Apostilas:

- FERREIRA, WALNÓRIO G.; Dimensionamento de Elementos de Perfis de Aço Laminados e Soldados, 2ª Edição, Editora Grafer, 2004;
- STEWART, HARRY L.; Pneumática e Hidráulica, 3ª Edição, Editora Hemus, 1978;
- FIALHO, ARIVELTO B.; Automação Hidráulica – Projetos, Dimensionamentos e Análise de Circuitos, 8ª Edição, Editora Érica, 2005.

## **Normas Pesquisadas:**

- NBR 8800 / 1986 : Aços Para Perfis Laminados Para Uso Estrutural;

### **Sites Pesquisados:**

- [www.cbca-ibs.org.br](http://www.cbca-ibs.org.br);
- [www.abcem.org.br](http://www.abcem.org.br);
- [www.mikroelektronika.co.yu/portuguese/product/books/picbook/00.htm](http://www.mikroelektronika.co.yu/portuguese/product/books/picbook/00.htm);
- [www.dafne.pt/produtos/conceitos-automacao.html](http://www.dafne.pt/produtos/conceitos-automacao.html);
- [www.festo.com/INetDomino/br/pt/0ea188d11e7634f6c1256f38006b427b.htm](http://www.festo.com/INetDomino/br/pt/0ea188d11e7634f6c1256f38006b427b.htm);
- [www.mspc.eng.br/info/plc.asp](http://www.mspc.eng.br/info/plc.asp);
- [www.pauloandrade.com.br/ferramentas.htm](http://www.pauloandrade.com.br/ferramentas.htm);

### **Softwares Utilizados:**

- AutoCAD 2004;
- Solid Edge 7;
- Automation Studio 5.0 .

## **Catálogos:**

- Eaton – Servo Valves;
- Conexel – Fontes de Alimentação Chaveada;
- Eaton – Valves;
- Mannesmann – Pressostato;
- National Instruments – NI M Series;

## **ANEXO**



**Anexo - Sugestão de Circuito para Acionamento de Relé (Módulo de Interface Digital IN/ Relé OUT)**

